

المملكة العربية السعودية

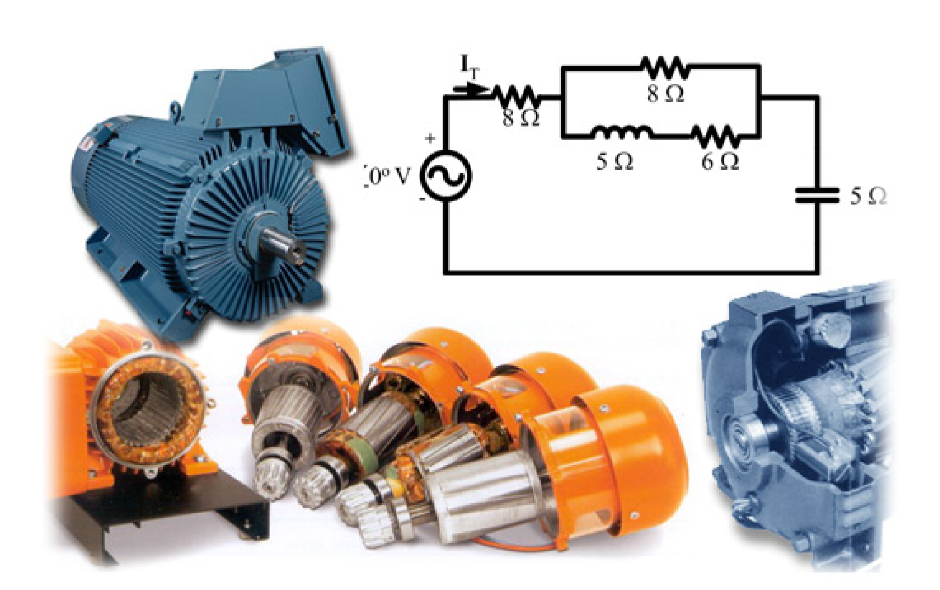
المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

آلات و معدات كهربائية

آلات التيار المتردد

٢٤١ كهر



الحمد لله وحده، والصلاة والسلام على من لا نبي بعده، محمد وعلى آله وصحبه، وبعد:

تسعى المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني لتأهيل الكوادر الوطنية المدربة القادرة على شغل الوظائف التقنية والفنية والمهنية المتوفرة في سوق العمل، ويأتي هذا الاهتمام نتيجة للتوجهات السديدة من لدن قادة هذا الوطن التي تصب في مجملها نحو إيجاد وطن متكامل يعتمد ذاتياً على موارده وعلى قوة شبابه المسلح بالعلم والإيمان من أجل الاستمرار قدماً في دفع عجلة التقدم التنموي: لتصل بعون الله تعالى لمصاف الدول المتقدمة صناعياً.

وقد خطت الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج خطوة إيجابية تتفق مع التجارب الدولية المتقدمة في بناء البرامج التدريبية، وفق أساليب علمية حديثة تحاكي متطلبات سوق العمل بكافة تخصصاته لتلبي متطلباته ، وقد تمثلت هذه الخطوة في مشروع إعداد المعايير المهنية الوطنية الذي يمثل الركيزة الأساسية في بناء البرامج التدريبية، إذ تعتمد المعايير في بنائها على تشكيل لجان تخصصية تمثل سوق العمل والمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني بحيث تتوافق الرؤية العلمية مع الواقع العملي الذي تفرضه متطلبات سوق العمل، لتخرج هذه اللجان في النهاية بنظرة متكاملة لبرنامج تدريبي أكثر التصاقاً بسوق العمل، وأكثر واقعية في تحقيق متطلباته الأساسية.

وتتناول هذه الحقيبة التدريبية " آلات التيار المتردد " لمتدربي قسم" آلات ومعدات كهربائية " للكليات التقنية موضوعات حيوية تتناول كيفية اكتساب المهارات اللازمة لهذا التخصص.

والإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج وهي تضع بين يديك هذه الحقيبة التدريبية تأمل من الله عز وجل أن تسهم بشكل مباشر في تأصيل المهارات الضرورية اللازمة، بأسلوب مبسط يخلو من التعقيد، وبالاستعانة بالتطبيقات والأشكال التي تدعم عملية اكتساب هذه المهارات.

والله نسأل أن يوفق القائمين على إعدادها والمستفيدين منها لما يحبه ويرضاه: إنه سميع مجيب الدعاء.

الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

هذه هي الحقيبة التدريبية السابعة في تخصص الآلات والمعدات الكهربائية، وهي تهدف إلى تعريف المتدرب بتركيب وأساسيات تشغيل وأداء آلات التيار المتردد الشائعة الاستخدام كالمحركات الحثية والآلات التزامنية، كذلك تهدف إلى تعريف المتدرب بتطبيقات هذه الآلات واستخداماتها في الصناعة، كما تهدف أيضاً إلى تدريب المتدرب على كيفية قياس الخواص الهامة لهذه الآلات وتحديد مدى تشغيلها وكذلك تدريبه على إجراء الحسابات المتعلقة بتلك الآلات وهذه الحقيبة تشتمل على أربع وحدات تدريبية، الثلاث الأولى منها خاصة بالمقرر النظري الذي يدرس للمتدرب في الفصل وهي كما يلي:

- الوحدة الأولى: المحركات الحثية ثلاثية الأوجه.
- الوحدة الثانية: المولدات التزامنية ثلاثية الأوجه.
- الوحدة الثالثة: المحركات التزامنية ثلاثية الأوجه.

وقد قسمت كل وحدة إلى عدد من الفصول ، كل فصل يختص بموضوع أو أكثر بالإضافة إلى عدد من الأمثلة الحسابية المحلولة حلاً تفصيلياً حول ذلك الموضوع ، كما يوجد في نهاية كل فصل مجموعة من الأسئلة والتمارين الخاصة بموضوع ذلك الفصل والتي تعتبر كوسيلة مراجعة وتثبيت للمعلومات التي درست للطالب في ذلك الفصل.

أما الوحدة الرابعة فهي خاصة بالتجارب العملية التي يجب على المتدرب أن يجريها أسبوعياً في المعمل. وهذه الوحدة لا تعتبر منهج تدريبي مستقل وإنما الغرض منها هو دعم ومساندة الوحدات النظرية الثلاث السابقة فهي تهدف إلى إثبات فرضيات أو ترسيخ مفاهيم معينة درسها المتدرب نظرياً حول تلك الأنواع من الآلات الكهربائية، كما يوجد في نهاية كل تجربة من التجارب العشر التي قدمت في هذه الوحدة مجموعة من الأسئلة المتعلقة بالتجربة ذاتها والتي تعتبر كمقياس لمدى فهم واستيعاب المتدرب للتجربة.

المملكـة العربيــة الســعودية
المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج



آلات التيـــار المتردد

المحركات الحثية ثلاثية الأوجه

المحركات الحثية ثلاثية الأوجه

١

الجدارة: الإلمام الشامل بتركيب وأساسيات تشغيل وأداء المحركات الحثية ثلاثية الأوجه

الأهداف: عندما يكمل المتدرب هذه الوحدة يكون قد تمكن من تحقيق الأهداف والمهارات التالية:

الإلمام بأنواع وتركيب المحركات الحثية ثلاثية الأوجه.

١. الإلمام بكيفية توليد المجال المغناطيسي الدوار في هذه المحركات.
٢. فهم نظرية عمل المحركات الحثية ثلاثية الأوجه.
٣. الإلمام بخواص المحركات الحثية ثلاثية الأوجه وطبيعة عملها.
٤. الإلمام بطرق عكس اتجاه دوران المحركات الحثية ثلاثية الأوجه.
٥. إجراء الاختبارات الروتينية على هذه المحركات.
٦. حساب ثوابت الدائرة المكافئة لهذه المحركات.
٧. فهم المنحنيات الخاصة بأداء هذه المحركات.
٨. إجراء الحسابات المتعلقة بهذه المحركات مثل حساب القدرة والعزم والكفاءة .
٩. الإلمام بطرق بدء الحركة للمحركات الحثية ثلاثية الأوجه.
١٠. الإلمام بكيفية تغيير سرعة دوران المحركات الحثية ثلاثية الأوجه.

الوقت المتوقع للتدريب: ١٤ ساعة

الوسائل المساعدة: التجارب العملية من رقم ١ إلى ٧ في الوحدة التدريبية الرابعة من هذه الحقيبة

متطلبات الجدارة: يجب أن يكون المتدرب قد أتم دراسة الحقيبة التدريبية الرابعة في هذا التخصص (آلات التيار المستمر والمحولات)

هذه الوحدة مقسمة إلى أربعة فصول، كل فصل يختص بموضوع أو أكثر حول المحركات الحثية ثلاثية الأوجه وهي كما يلي:

الفصل الأول : التركيب ونظرية العمل.
الفصل الثاني: الدائرة المكافئة وكيفية تحديد عناصرها.
الفصل الثالث: القدرة و العزم.
الفصل الرابع: طرق بدء الحركة والتحكم في السرعة.

وفي نهاية كل فصل يوجد عدد من الأمثلة الحسابية المحلولة حلاً تفصيلياً، بالإضافة إلى مجموعة من الأسئلة والتمارين التي تم اختيارها بعناية لتكن بمثابة قياس لفهم و استيعاب المتدرب لهذا الفصل.

الفصل الأول
التركيب ونظرية العمل

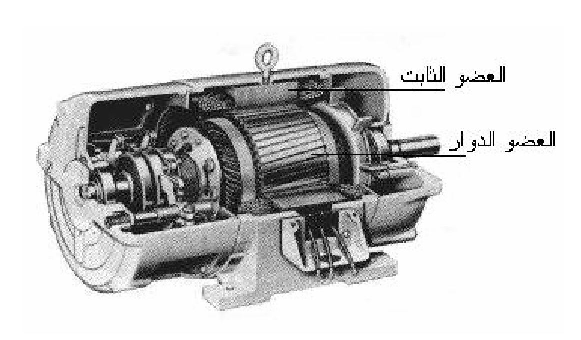
تمهيد:

المحرك الحثي متعدد الأوجه الذي قام باختراعه نيقولا تسلا عام ١٨٨٦م يعتبر المحرك الأكثر انتشاراً في عالم الصناعة هذا اليوم، ويقدر أن في مصانع أمريكا وحدها ما يزيد عن خمسين مليون محرك من هذا النوع تعطي جميعها ما مقداره ١٥٠ مليون حصان ، ويعتقد أن هذا العدد يزداد بما يقارب مليون محرك كل عام .

هذا الانتشار الواسع لهذا المحرك جاء نتيجةً لما يتمتع به من مزايا مثل: المتانة ، بساطة التركيب ، انخفاض الثمن مقارنة بالمحركات الأخرى ، قلة الصيانة ، كما أنه يتوفر بقدرات تتراوح من جزء من الحصان إلى أكثر من ١٠,٠٠٠ حصان ولا يحتاج إلى أي وسيلة إثارة بالإضافة إلى كفاءته العالية وبالجملة فإن مميزات تشغيله حسنه ومرضيه في الأعمال التي لا تتطلب تغيراً في السرعة.
ومما يعيب هذا المحرك أنه ليس من السهل التحكم في سرعته كما أن تيار البدء لهذا المحرك عالي (٦ -٨ أضعاف تيار الحمل الكامل) وكذلك معامل القدرة منخفض عند الأحمال الخفيفة.
ولكننا نجد أن مميزات هذا المحرك تفوق عيوبه في معظم التطبيقات الصناعية كما أنه وجد حديثاً وسائل تحكم إلكترونية أدت إلى التغلب على هذه العيوب.

تركيب المحرك الحثي

المحرك الحثي ثلاثي الأوجه Three Phase Induction Motor يتركب من عضوين رئيسيين كأي محرك آخر: هما العضو الثابت Stator والعضو الدوار Rotor ، انظر الشكل رقم (١ -١).

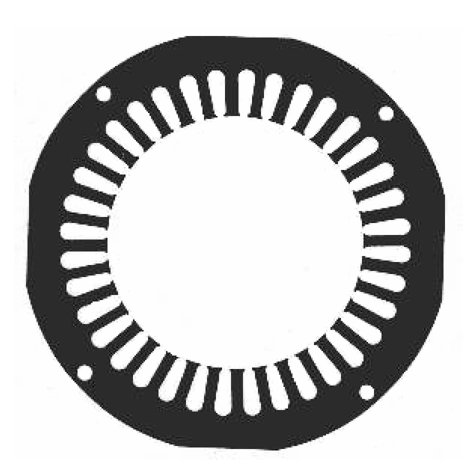


شكل رقم ١ -١: مقطع في محرك حثي

العضو الثابت:

العضو الثابت يتكون من شرائح متراصة من الحديد المغناطيسي تتراوح سماكتها من ٠,٣ مم إلى ٠,٦مم ـ حسب حجم المحرك ـ(شكل رقم ٢ -١) ، ومعزولة عن بعضها بعازل كهربائي بحيث تكون مع بعضها جسماً أسطوانياً محفور بداخله عدد من المجاري وذلك لتركيب الملفات ، انظر شكل رقم (٣ -١).

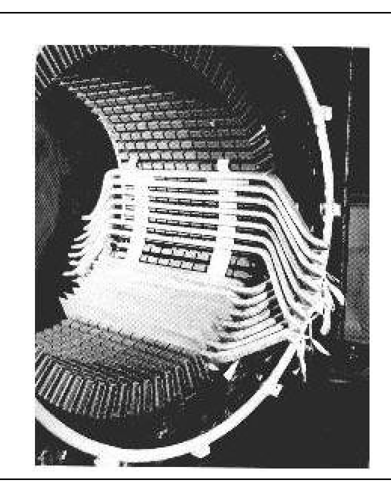
الهدف من تصنيع العضو الثابت بهذه الطريقة هو تقليل حرارة الحديد الناتجة من التيارات الدوامية التي تكونت بسبب تعرض الحديد للمجال المغناطيسي المتغير داخل المحرك ، كما أنه يوجد في المحركات الكبيرة عادةً فتحات تهوية بين الشرائح في العضو الثابت. بعد اكتمال تصنيع العضو الثابت بهذه الطريقة يتم تقسيمه إلى العدد المطلوب من الأقطاب وتقسم المجاري في كل قطب على الأوجه الثلاثة ثم بعد ذلك يتم تركيب ملفات كل وجه في المجاري الخاصة به تحت كل قطب بحيث يفصل بين كل وجه وآخر ١٢٠ درجة كهربائية وفي نهاية عملية اللف يكون قد تم تركيب ثلاثة ملفات في العضو الثابت لكل ملف طرفان هذه الأطرف الستة يتم تغذية العضو الثابت من خلالها بعد توصيلها إما على شكل نجمة أو دلتا ، انظر الأشكال (٤ -١، ٥ -١).



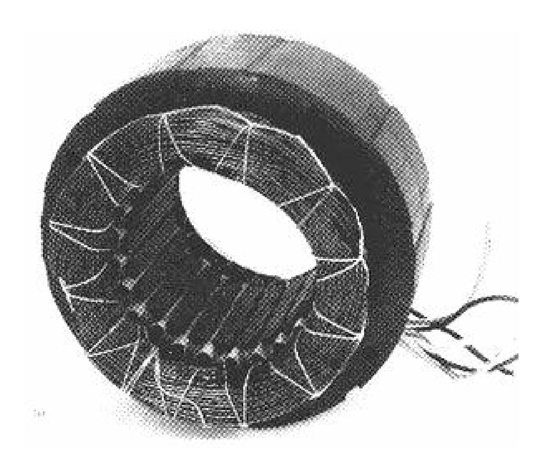
شكل رقم ٢ -١ : شريحة عضو ثابت

العضو الدوار:

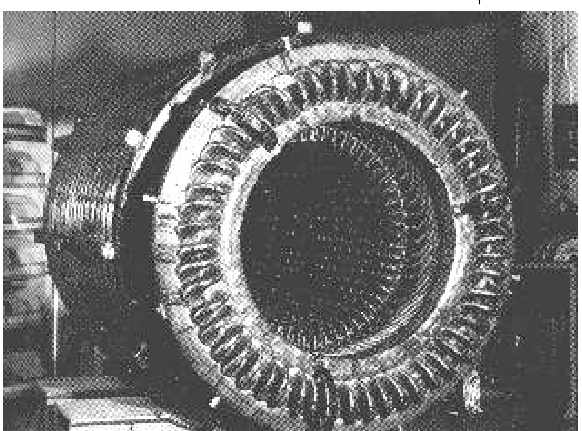
يوجد منه نوعان مختلفان في التركيب ومتقاربان في الخواص الكهربائية ، ويسمى المحرك عادةً باسم عضوه الدوار للتميز بين نوعيه وهما: العضو الدوار الملفوف أو ذو حلقات الانزلاق والعضو الدوار ذو القفص السنجابي.

شكل رقم ٣ -١: العضو الثابت أثناء تركيب الشرائح والملفات ويلاحظ وجود فتحات للتهوية بين الشرائح



شكل رقم ٤ -١: عضو ثابت مكتمل لمحرك صغير



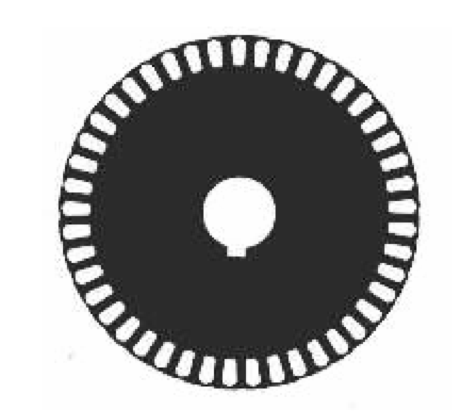
شكل رقم ٥ -١: عضو ثابت مكتمل لمحرك كبير

العضو الدوار الملفوف (ذو حلقات الانزلاق):

العضو الدوار الملفوف Wound Rotor يتركب من شرائح متراصة من الحديد المغناطيسي المعزولة عن بعضها مركبة على عمود المحرك ومحفور عليها عدد من المجاري لتركيب الملفات ،شكل رقم (٦ - ١).

يقسم العضو الدوار إلى عدد من الأقطاب مساوي لأقطاب العضو الثابت الذي سيركب فيه وتقسم المجاري في كل قطب إلى ثلاثة أقسام كل قسم يركب فيه ملفات أحد الأوجه الثلاثة بحيث يكون بين كل وجه وأخر ١٢٠ درجه كهربائية ، عادةً هذه الملفات الثلاثة توصل على شكل نجمة حيث تقصر ثلاثة أطراف مع بعضها داخل العضو الدوار بينما الثلاثة الأخرى يتم توصيلها إلى ثلاث حلقات انزلاق Slip Rings مركبة على نفس العمود.

من خلال حلقات الانزلاق وعن طريق فرش كربونية مماسة لحلقات الانزلاق أثناء الدوران يتم توصيل ملفات العضو الدوار إلى خارج المحرك وذلك من أجل التحكم في بدء دوران المحرك أو في تنظيم سرعته وذلك بتوصيل مقاومات خارجية بهذه الأطراف الثلاثة، لذلك فإن هذا النوع من المحركات يتميز بإمكانية تغيير خواص تشغيله على نطاق واسع عن طريق توصيل ملفات العضو الدوار بدائرة خارجية ، انظر شكل رقم (٧ -١).



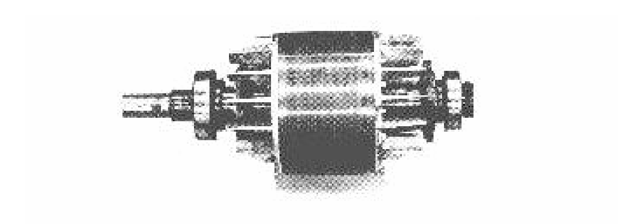
شكل رقم ٦ -١: شريحة عضو دوار

حلقات الإنزلاق

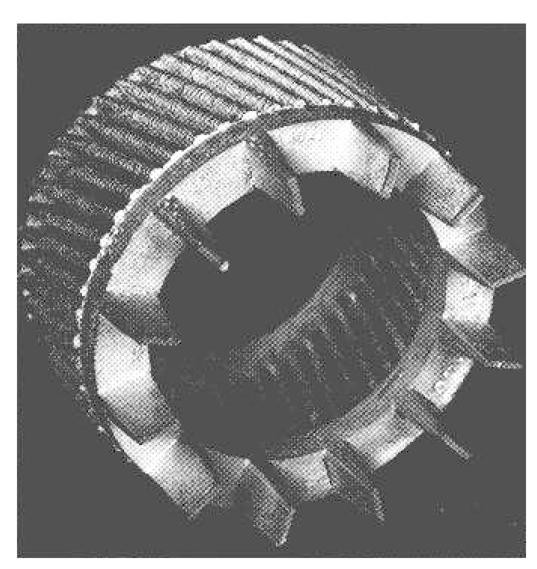
شكل رقم ٧ -١: عضو دوار ملفوف (ذو حلقات انزلاق)

العضو الدوار ذو القفص السنجابي:

العضو الدوار ذو القفص السنجابي Squirrel cage مشابة تماماً للعضو الدوار ذي حلقات الانزلاق من حيث التركيب الميكانيكي ولكن بدلاً من وضع ملفات في المجاري فإنه يوضع قضبان من النحاس أو الألمنيوم وهذه القضبان مقصورة أطرافها مع بعض من الجهتين بحلقتين من نفس مادة القضبان . هذا النوع لا يقسم إلى عدد معين من الأقطاب وإنما يستطيع التكيف تلقائياً مع عدد الأقطاب والأوجه للعضو الثابت الذي سيركب فيه. وحيث أنه لا يوجد به حلقات انزلاق فإنه لا يمكن ربطه بدائرة خارجية وبالتالي لا يمكن تغيير خواص تشغيل هذا المحرك أو التحكم بسرعته ، انظر الأشكال (٨ -١ ، ٩ -١).



شكل رقم ٨ -١: عضو دوار ذو قفص سنجابي



شكل رقم ٩ -١: قضبان القفص السنجابي بعد إزالة الشرائح الحديدية

المجال المغناطيسي الدوار

حيث أن ملفات العضو الثابت موصلة إما على شكل نجمة أو دلتا ويوجد بين كل ملف وأخر زاوية فراغية قدرها ١٢٠ درجة فإنه عندما توصل هذه الملفات بمصدر جهد كهربائي ثلاثي الأوجه بين كل وجه واخر١٢٠ درجة فإنه سيمر في هذه الملفات تيارات متزنة بين كل تيار وأخر ١٢٠ درجة ، ونتيجة لمرور هذه التيارات بهذه الصفة في تلك الملفات التي يفصل بين كل ملف و آخر زاوية فراغية قدرها ١٢٠ درجة فإنه سينشاء في الثغرة الهوائية مجال مغناطيسي دوار منتظم ، انظر الشكل (١٠ - ١). هذا المجال المغناطيسي يدور بسرعة تسمى السرعة التزامنية Synchronous speed وتحسب من المعادلة التالية :

حيث:

ns: السرعة التزامنية .

f_s: تردد تيار العضو الثابت .

p: عدد أقطاب الآلة .

شدة هذا المجال المغناطيسي تتناسب طردياً مع تيار الوجه المار في العضو الثابت وعدد اللفات في العضو الثابت تحت كل قطب ، وتحسب من المعادلة التالية:

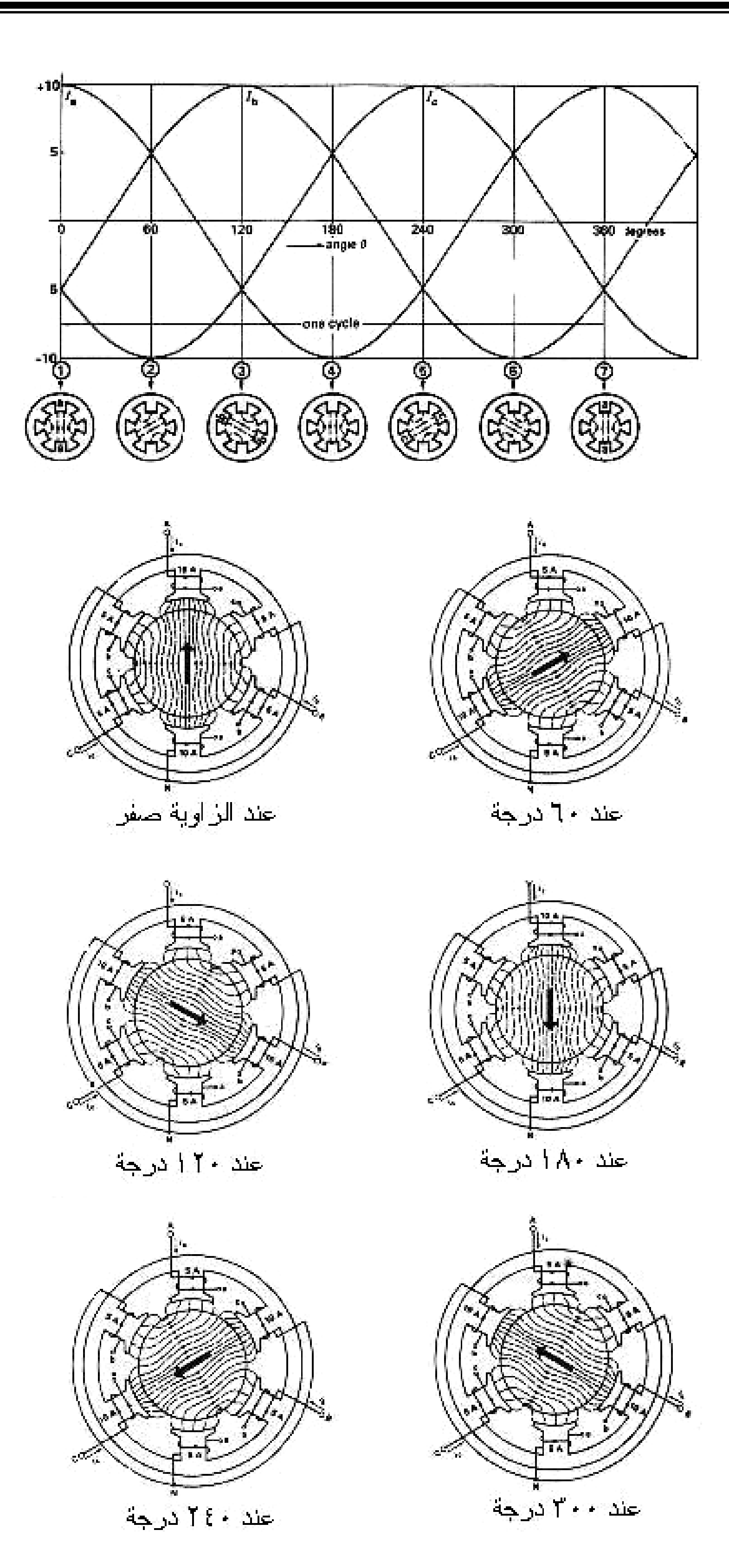
$$F_s = N_s \cdot I_s \qquad (2 - 1)$$

حيث:

F_s: شدة المجال المغناطيسي في العضو الثابت .

N_s: عدد لفات العضو الثابت لكل قطب .

I_s: القيمة الفعالة لتيار الوجه في العضو الثابت .



شكل رقم ١٠ -١: رسم توضيحي للمجال المغناطيسي الدوار في محرك ذي ستة أقطاب

كيفية عمل المحرك الحثي ثلاثي الأوجه

عند توصيل أطراف العضو الثابت بمصدر الجهد فإنه سينشاء مجال مغناطيسي دوار ، هذا المجال المغناطيسي الدوار سيولد قوة دافعة كهربائية في أي موصل كهربائي يقع ضمن نطاق تأثيره وذلك طبقاً لظاهرة الحث الكهرومغناطيسي ، وحيث إن العضو الدوار يقع ضمن تأثير هذا المجال المغناطيسي الدوار فإنه سينشاء في موصلاته قوة دافعة كهربائية ثلاثية الأوجه ، و بمأن موصلات العضو الدوار مقصورة من الطرفين فإنه سيمر فيها تيارات ثلاثية الأوجه بين كل وجهه وأخر ١٢٠ درجة و من ثم سيتولد مجال مغناطيسي دوار آخر في الثغرة الهوائية نتيجةً لمرور تيارات ثلاثية الأوجه في موصلات العضو الدوار. في هذه الحالة أصبح لدينا مجالان مغناطيسيان دواران الأول ناتج من العضو الثابت ويدور بالسرعة التزامنية (ns) والثاني ناتج من العضو الدوار ويدور بسرعة (ns- n) بالنسبة للعضو الدوار . حيث n هي سرعة العضو الدوار. ويدور بالسرعة التزامنية (ns) بالنسبة للعضو الثابت. وحيث أن هذين المجالين المغناطيسيين يدوران بنفس السرعة والاتجاه فإنه سيتولد عزم فعال على العضو الدوار يؤدي إلى دورانه بنفس اتجاه و دوران المجالين وذلك طبقاً لمبدأ إنتاج العزم Principle of Torque Production ، انظر شكل (١١ -١) ، هذا العزم يتناسب طردياً مع شدة المجالين وجيب الزاوية بينهما طبقاً للمعادلة التالية:

$$T \propto F_s \cdot F_r \cdot Sin(\delta_{sr}) \qquad (3-1)$$

حيث:

T: العزم

F_s: شدة المجال المغناطيسي في العضو الثابت

F_r: شدة المجال المغناطيسي في العضو الدوار

δ_{sr}: الزاوية بين المجالين

بعدما يبدأ العضو الدوار بالتسارع فإن سرعة تعرض موصلاته لقطع خطوط المجال المغناطيسي الدوار ستقل كلما زادت سرعة العضو الدوار طبقاً للمعادلة التالية:

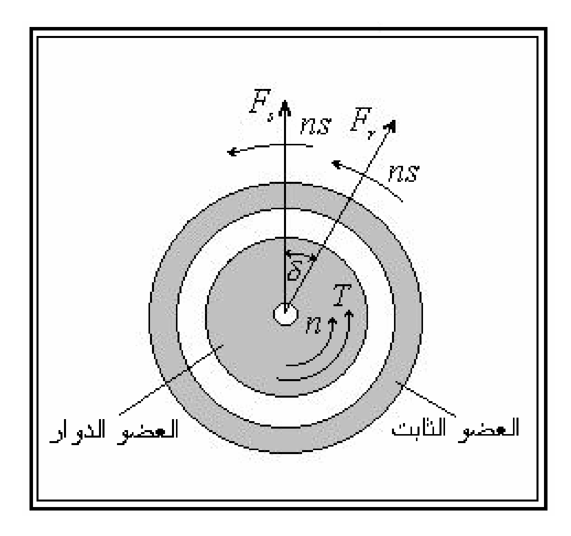
$$n_f = ns - n \qquad (4-1)$$

حيث:

n_f: سرعة قطع خطوط المجال المغناطيسي لموصلات العضو الدوار

وبالتالي فإن القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في موصلات العضو الدوار ستقل مع ازدياد سرعة العضو الدوار وذلك لأن القوة الدافعة الكهربائية المتولدة بسبب الحث الكهرومغناطيسي تتناسب طردياً مع السرعة النسبية بين الموصل والمجال الذي يتعرض له. وبالتالي فإن قيمة التيارات المارة في موصلات العضو الدوار ستقل وبالتالي شدة المجال المغناطيسي المتولد منها ستقل ومن ثم يقل العزم المؤثر على العضو الدوار ، وهكذا حتى تصل سرعة العضو الدوار إلى سرعة قريبة من السرعة التزامنية. عندما تصل سرعة العضو الدوار إلى قرب السرعة التزامنية تكون التيارات المتولدة في موصلات العضو الدوار صغيرة وبالتالي يضعف المجال المغناطيسي الناشئ منها مما يؤدي إلى انخفاض العزم المؤثر على العضو الدوار. وعندما تستقر سرعة العضو الدوار فإن العزم المؤثر على العضو الدوار يكون مساوي لقوة الاحتكاك التي يتعرض لها العضو الدوار.

عند تحميل المحرك تقل سرعة العضو الدوار وينتج عن ذلك زيادة في سرعة قطع المجال المغناطيسي لموصلات العضو الدوار مما يؤدي إلى زيادة قيم التيارات المارة في موصلاته وبالتالي زيادة شدة المجال المغناطيسي الناشئ منها ومن ثم زيادة العزم المؤثر على العضو الدوار، ثم تستقر سرعة العضو الدوار عند سرعة جديدة و عندها يكون العزم المؤثر عليه مساوي لعزم الحمل المسلط عليه.



شكل رقم ١١ -١: محاور المجالات المغناطيسية في المحرك الحثي

مفهوم الانزلاق

الجهد المتولد في موصلات العضو الدوار يعتمد على السرعة النسبية بين العضو الدوار وسرعة المجال المغناطيسي الدوار الناتج من العضو الثابت ، فإذا كانت سرعة المجال المغناطيسي الدوار (السرعة التزامنية) هي ns والتي تحسب من المعادلة (١ -١) ، وإذا كانت سرعة العضو الدوار هي n فإن السرعة النسبية بين سرعة العضو الدوار وسرعة المجال المغناطيسي الدوار هي الفرق بين السرعتين ($ns-n$) وتسمى سرعة الانزلاق Slip speed:

$$n_{slip} = ns - n \qquad (5\text{-}1)$$

حيث: n_{slip} تعني سرعة الانزلاق

وإذ نسبت سرعة الانزلاق إلى السرعة التزامنية للآلة نفسها فإنها تعطي معاملاً هاماً ومفيداً جداً عند دراسة الآلات الحثية يسمى معامل الانزلاق Slip ويرمز له بالرمز (S) وتتراوح قيمته في المحركات الصغيرة ما بين ٠,٠١ إلى ٠,٠٢ وقد تصل إلى ٠,٠٠٥ في المحركات الكبيرة في حالة عدم التحميل وعند التحميل يتراوح الانزلاق من ٠,٠٣ إلى ٠,٠٥ ، ويمكن حسابه من المعادلة التالية:

$$s = \frac{ns - n}{ns} \qquad (6\text{ - }1)$$

يلاحظ أن قيمة الانزلاق لا تقل عن الصفر وذلك عندما يدور العضو الدوار بنفس السرعة التزامنية ولا تزيد عن الواحد وذلك عندما يكون العضو الدوار ثابت .

من الممكن حساب سرعة العضو الدوار بدلالة السرعة التزامنية والانزلاق وذلك بعد حل المعادلة (٦ -١) كما يلي:

$$n = ns\,(1 - S) \qquad (7\text{ - }1)$$

تردد الجهود والتيارات في العضو الدوار

المحرك الحثي يعمل طبقاً لنظرية الحث الكهرومغناطيسي حيث يتولد الجهد والتيار في العضو الدوار طبقاً لهذا المبدأ كما هو الحال في المحول ، لذلك فإنه أحياناً يسمى محول دوار، الابتدائي هو العضو الثابت والثانوي هو العضو الدوار ولكن لا يشابه المحول من حيث تردد الجهد والتيار في العضو الدوار(الثانوي). فعندما يكون العضو الدوار ثابت فإن تردد التيارات المتولدة فيه هو نفسه تردد التيارات في العضو الثابت (كالمحول تماماً) بينما إذا كان العضو الدوار يدور بالسرعة التزامنية فإن تردد التيارات فيه يكون صفراً.

إذن: ما هو تردد التيارات في العضو الدوار عندما يدور بسرعة أقل من السرعة التزامنية ؟؟

عندما $(n=٠)$ فإن $(S=١)$ والتردد $(f_r=f_s)$

وعندما $(n=ns)$ فإن $(S=٠)$ والترد د $(f_r=٠)$

إذن : عند أي سرعة للعضو الدوار بين الصفر والسرعة التزامنية فإن تردد التيار في العضو الدوار سيتناسب طردياً مع الفرق بين السرعة التزامنية (ns) وسرعة العضو الدوار(n) ، بماأن الانزلاق هو الفرق بين هاتين السرعتين منسوباً إلى السرعة التزامنية (المعادلة ٦ -١) فإنه يمكن التعبير عن تردد التيارات في العضو الدوار بالمعادلة التالية:

أمثلة محلولة :

مثال (١ -١):

محرك حثي ثلاثي الأوجه ذو أربعة أقطاب ملفاته موصلة على شكل نجمة يغذى من مصدر جهده V ٢٤٠ وتردده Hz ٥٠ ، فإذا كانت قيمة الانزلاق عند الحمل الكامل ٥٪ احسب ما يلي:

أ) السرعة التزامنية لهذا المحرك

ب) سرعة العضو الدوار عند الحمل الكامل

جـ) تردد التيارات في العضو الدوار عند الحمل الكامل

الحــل:

أ) من المعادلة (١ -١):

$$ns = \frac{120 \quad f_s}{p} = \frac{120 \quad \times 50}{4} = 1500 \quad rpm$$

ب) من المعادلة (٧ -١):

$$n = ns\ (1 - S) = 1500 \quad (1 - 0.05) = 1425 \quad rpm$$

جـ) من المعادلة (٨ -١):

$$f_r = S \cdot f_S = 0.05 \times 50 = 2.5 \quad Hz$$

مثال (٢ -١):

محرك ثلاثي الأوجه ذو أربعة أقطاب يعمل على مصدر تردده Hz ٦٠ ، وسرعته عند الحمل الكامل ١٧٤٠ دورة/دقيقة ، احسب سرعة الانزلاق ومعامل الانزلاق عند الحمل الكامل .

الحــل:

أولاً: تحسب السرعة التزامنية من المعادلة (١ -١):

$$ns = \frac{120 \ f_s}{p} = \frac{120 \times 60}{4} = 1800 \quad rpm$$

سرعة الانزلاق عند الحمل الكامل تحسب من المعادلة (٥ -١):

$$n_{slip} = ns - n = 1800 - 1740 = 60 \quad rpm$$

معامل الانزلاق عند الحمل الكامل يحسب من المعادلة (٦ -١):

$$S = \frac{ns - n}{ns} = \frac{1800 - 1740}{1800} = 0.0333$$

مثال(٣ -١):

محرك حثي ذو ستة أقطاب يعمل على مصدر تردده ٥٠ Hz ، القوة الدافعة الكهربائية في العضو الدوار ترددها ٢,٥ Hz ، احسب معامل الانزلاق وكذلك سرعة العضو الدوار.

الحـل:

معامل الانزلاق يحسب من المعادلة (٨ -١):

$$S = \frac{f_r}{f_s} = \frac{2.5}{50} = 0.05$$

لحساب سرعة العضو الدوار :

أولاً: تحسب السرعة التزامنية من المعادلة (١ -١):

$$ns = \frac{120\ f_s}{p} = \frac{120 \times 50}{6} = 1000 \quad \text{rpm}$$

ثم تحسب سرعة العضو الدوار من المعادلة (٧ -١):

$$n = ns\,(S - 1) = 1000\ (0.05 - 1) = 950 \quad \text{rpm}$$

أسـئلة و تماريــن

١- لماذا يصنع العضو الثابت أو الدوار من شرائح حديدية؟

٢- ما المقصود بالحث الكهرومغناطيسي؟

٣- ما المقصود بالتيارات الدوامية ؟ وكيف تنشأ؟

٤- ما هي فائدة وجود حلقات الانزلاق؟

٥- ما هي الشروط اللازمة لتوليد مجال مغناطيسي دوار منتظم؟

٦- اشرح كيف يتولد عزم فعال يؤدي إلى دوران العضو الدوار

٧- هل يمكن للعضو الدوار أن تصل سرعته إلى السرعة التزامنية؟

٨- ما هو معامل الانزلاق؟

٩- محرك حثي ثلاثي الأوجه ذو قطبين يغذى من مصدر تردده ٦٠ Hz ، احسب سرعة العضو الدوار إذا كان تردد التيارات في العضو الدوار ٢ Hz

١٠- محرك حثي ثلاثي الأوجه ذو ثمانية أقطاب يعمل على مصدر تردده ٥٠ Hz ، وسرعته عند الحمل الكامل ٧١٦ دورة / دقيقة ، احسب سرعة الانزلاق ومعامل الانزلاق عند الحمل الكامل.

١١- محرك حثي ذو أربعة أقطاب يعمل على مصدر تردده ٦٠ Hz ، القوة الدافعة الكهربائية في العضو الدوار ترددها ٢٫٧ Hz ، احسب معامل الانزلاق وكذلك سرعة العضو الدوار.

١٢- محرك حثي ثلاثي الأوجه ذو قطبين ملفاته موصلة على شكل نجمة يغذى من مصدر جهده ٢٢٠ V وتردده ٦٠ Hz ، فإذا كانت قيمة الانزلاق عند الحمل الكامل ٠٫٠٥ احسب ما يلي:

أ) السرعة التزامنية لهذا المحرك

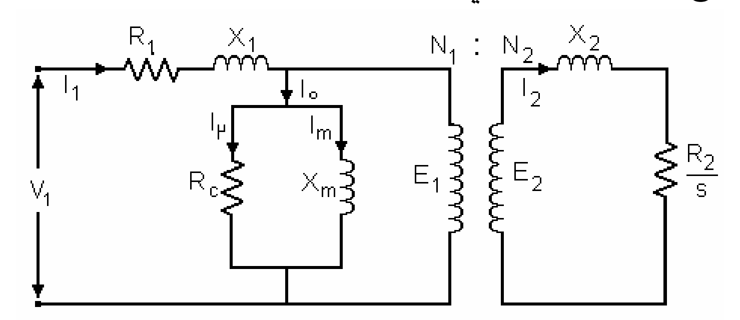
ب) سرعة العضو الدوار عند الحمل الكامل

جـ) تردد التيارات في العضو الدوار عند الحمل الكامل

الفصل الثاني

الدائـرة المكـافـئـة

الـدائرة المكافئـة Equivalent Circuit للمحـرك الحثـي ثلاثـي الأوجـه تشـبه تمامـاً الـدائرة المكافئـة للمحول ، كما هو موضح في الشكل التالي:



شكل رقم ١٢ -١: الدائرة المكافئة للمحرك الحثي ثلاثي الأوجه

حيث:

R_1, R_2: مقاومة ملفات العضو الثابت والعضو الدوار لكل وجه

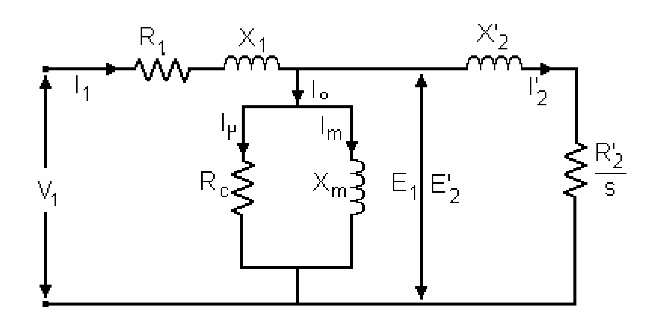
X_1, X_2: الممانعة الحثية لملفات العضو الثابت والعضو الدوار لكل وجه

R_C: مقاومة تمثل المفاقيد الحديدية

X_m: المفاعلة المغناطيسية

N_1, N_2: عدد اللفات للعضو الثابت والعضو الدوار

ويمكن أن ترسم الدائرة المكافئة بحيث تكون دائرة الثانوي منسوبة إلى الابتدائي للتخلص من الدائرة المغناطيسية كما هو موضح في الشكل التالي:



شكل رقم ١٣ -١: الدائرة المكافئة للمحرك الحثي منسوبة إلى الابتدائي

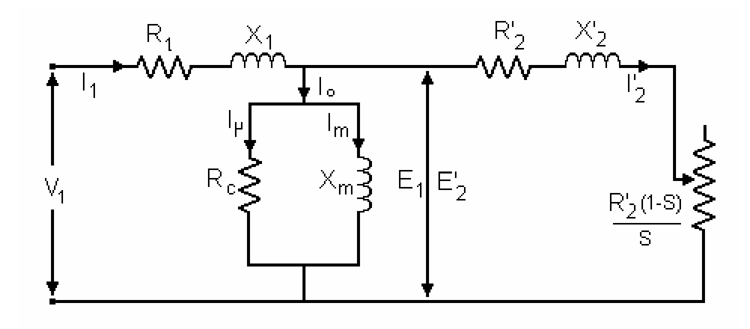
حيث:

$$E'_2 = (N_1 / N_2) E_2$$
$$\frac{R'_2}{S} = \frac{R_2}{S} (N_1 / N_2)^2$$
$$X'_2 = X_2 (N_1 / N_2)^2$$
$$I'_2 = I_2 (N_2 / N_1)$$

كما أن مقاومة ملفات العضو الدوار($\frac{R'_2}{S}$) يمكن تقسيمها إلى مقاومتين كما يلي:

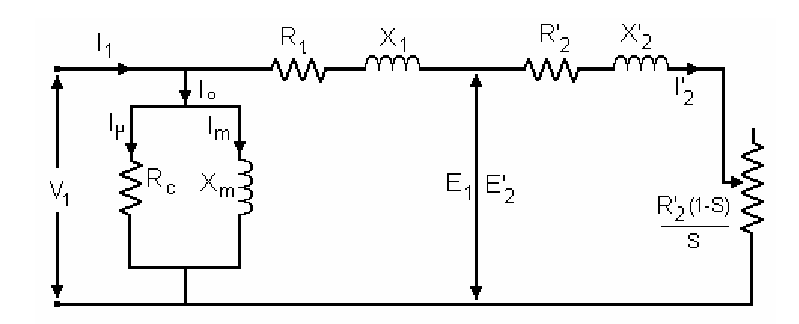
$$\frac{R'_2}{S} = \frac{R'_2}{S} + R'_2 - R'_2$$
$$= R'_2 + \frac{R'_2}{S} - R'_2$$
$$= R'_2 + R'_2 \left(\frac{1}{S} - 1 \right)$$
$$= R'_2 + R'_2 \left(\frac{1 - S}{S} \right)$$

وبالتالي يمكن إعادة رسم الدائرة المكافئة كما يلي:



شكل رقم ١٤ -١: الدائرة المكافئة للمحرك الحثي في وضعها النهائي

ويمكن أيضاً الحصول على الدائرة المكافئة التقريبية عندما نهمل تيار اللاحمل (I_0) وذلك لأن قيمته صغيرة جداً عند مقارنتها بتيار الحمل (I_1). وعلى هذا الأساس يمكن نقل الفرع الممثل للدائرة المغناطيسية إلى جهة جهد الابتدائي(V_1) كما هو موضح في الشكل رقم (١٥ -١).



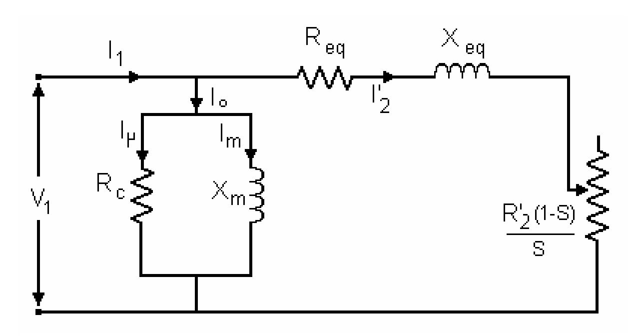
شكل رقم ١٥ -١: الدائرة المكافئة التقريبية للمحرك الحثي

ونتيجة لهذا التقريب يمكن أن نعتبر أن:

$$R_{eq} = R_1 + R_2^{'}$$

$$X_{eq} = X_1 + X_2^{'}$$

وبالتالي يمكن إعادة رسم الدائرة المكافئة كما في الشكل التالي:



شكل رقم ١٦ -١: الدائرة المكافئة التقريبية للمحرك الحثي

وبهذا التبسيط تصبح الدائرة المكافئة التقريبية للمحرك الحثي مشابهة تماماً للدائرة المكافئة التقريبية للمحول، حيث تعتبر المقاومة $R'_2\left(\frac{1-S}{S}\right)$ حملاً للمحول ، والقدرة المفقودة في هذه المقاومة تمثل القدرة الميكانيكية الناتجة من المحرك.

يلاحظ أن الدائرة المكافئة التقريبية للمحرك الحثي ثلاثي الأوجه أعلاه تعبر عن وجه واحد من أوجه المحرك الثلاثة وذلك للتشابه التام بين الأوجه الثلاثة ، فليس هناك ما يدعو إلى تكرارها ثلاث مرات ، ولكن عند إجراء الحسابات على هذه الدائرة يجب أن يؤخذ ذلك في الاعتبار حيث تحتاج بعض الكميات إلى ضربها بعدد الأوجه أو بجذر ثلاثة حسب طريقة توصيل ملفات المحرك.

تعيين ثوابت الدائرة المكافئة التقريبية

تعتبر الدائرة المكافئة للمحرك الحثي أداةً مفيدةً جداً لتحديد استجابة المحرك عند التغير في الأحمال ، وإذا أردنا تطبيقها على آلة حقيقية فإن ذلك يتطلب تحديد قيم ثوابت الآلة ($R_1, R_2, X_1, X_2, R_c, X_m$). ولكي يتم تحديد قيم هذه الثوابت يتوجب القيام بعدد من الاختيارات في المعمل. هذه الاختبارات مشابهةً تماماً لاختبارات الدائرة المفتوحة والدائرة المقصورة التي تجرى عادةً على المحول.

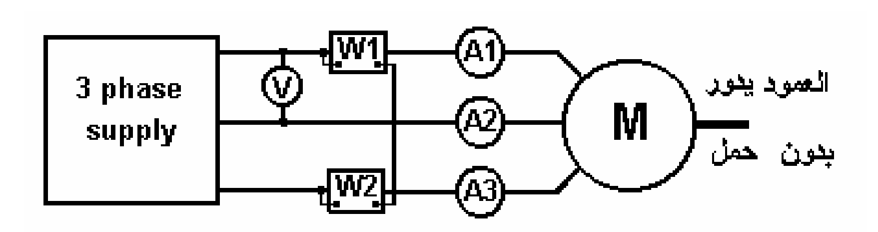
اختبار عدم الحمل No load Test:

في هذا الاختبار يوصل المحرك كما هو موضح في الشكل رقم (١٧ -١) ثم يسلط الجهد المقنن على أطراف المحرك و يترك العضو الدوار يدور بحرية تامة بدون أي حمل ، بعد ذلك تسجل قراءات الأجهزة كما يلي:

$$P = W_1 + W_2$$

$$I_o = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{3}$$

مع ملاحظة أن قيم الجهد والتيار المقروءة هي للخط وأن القدرة المقروءة تمثل تقريباً المفاقيد الحديدية (المفاقيد الثابتة).



شكل رقم ١٧ -١: اختبار عدم الحمل للمحرك الحثي ثلاثي الأوجه

حيث إن العضو الدوار يدور بدون حمل فهذا يعني أن سرعة دورانه مساوية تقريباً للسرعة التزامنية مما يعني أن الانـزلاق صـغير جداً (S<٠,٠٠١) أو لنقـل أنـه يسـاوي صـفر تقريبـاً. وعنـد التعـويض عـن قيمـة الانزلاق في هذه الحالة في المقاومة $R_2'\left(\frac{1-S}{S}\right)$ في الـدائرة المكافئة نجـد أن قيمـة هـذه المقاومـة تصـل إلى مـا لانهاية($R_2'\left(\frac{1-0}{0}\right)=\infty$) وهذا يعني أن الدائرة المكافئة أصبحت مفتوحة من جهة الثانوي.

ولـذلك فـإن هـذا الاختبـار يمكـن أن يسـمى اختبـار الـدائرة المفتوحـة أسـوةً بـالمحول. بمـا أن جهـة الثانوي أصبحت مفتوحة فهذا يعني أن تيار الاختبار سيمر مـن خـلال R_c , X_m فقـط. لـذلك يمكـن مـن نتائج هذه التجربة وبعد إجراء حسابات بسيطة تحديد قيم R_c , X_m كما يلي مع الأخذ بالاعتبـار طريقـة توصيل ملفات المحرك هل هي على شكل نجمة أو دلتا.

من الدائرة المكافئة في الشكل رقم (١٦ -١):

$$R_c = \frac{V_1}{I_\mu} \quad , \quad X_m = \frac{V_1}{I_m}$$

حيث V_1 هو جهد الوجه

من المخطط الاتجاهي (شكل رقم ١٨ -١) يمكننا إيجاد قيم I_m , I_μ بدلالة I_o كما يلي:

$$I_\mu = I_o Cos\,\theta$$
$$I_m = I_o Sin\,\theta$$

حيث :

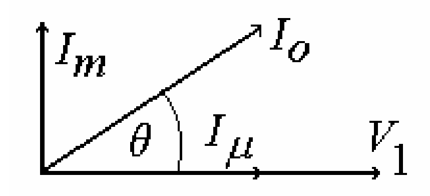
$$Cos\theta = \frac{P}{3V_1 I_o} \qquad (9\text{-}1)$$

$$\theta = Cos^{-1}\left(\frac{P}{3V_1 I_o}\right) \qquad (10\text{-}1)$$

وبالتالي يمكن إيجاد قيم R_c , X_m كما يلي:

$$R_c = \frac{V_1}{I_o Cos\,\theta} \qquad (11 - 1)$$

$$X_m = \frac{V_1}{I_o Sin\,\theta} \qquad (12 - 1)$$



شكل رقم ١٨ -١: المخطط الاتجاهي في حالة اللاحمل

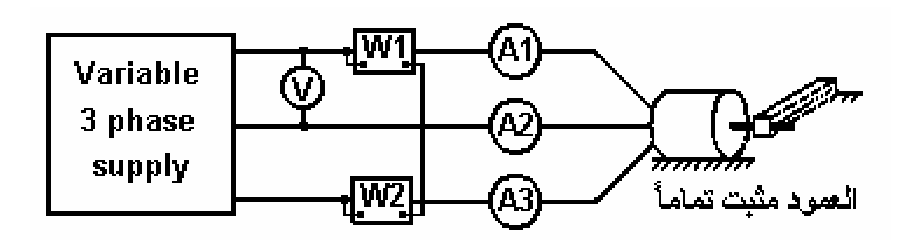
اختبار عدم الحركة Locked Rotor Test:

في هذا الاختبار يوصل المحرك كما هو موضح في الشكل رقم (١٩ -١) ولكن العضو الدوار يمنع من الحركة بأي وسيلة مناسبة ، بعد ذلك يزاد الجهد المسلط على أطراف المحرك تدريجياً حتى يصل التيار المار في ملفات المحرك إلى القيمة المقننة عند الحمل الكامل وذلك لأن توصيل المحرك على الجهد المقنن سوف يتسبب بمرور تيار كبير جداً قد يتلف ملفات المحرك ، بعد ذلك تسجل قراءات الأجهزة كما يلي:

$$P = W_1 + W_2$$

$$I_1 = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{3}$$

مع ملاحظة أن قيم الجهد والتيار المقروءة هي للخط وأن القدرة المقروءة تمثل تقريباً المفاقيد النحاسية (المفاقيد المتغيرة).



شكل رقم ١٩ -١: اختبار عدم الحركة للمحرك الحثي ثلاثي الأوجه

حيث أن العضو الدوار ثابت في هذه الحالة فإن ذلك يعني أن الانزلاق مساوي للواحد (S=١) وعند التعويض عن قيمته في المقاومة $R'_2\left(\frac{1-S}{S}\right)$ في الدائرة المكافئة نجد أن قيمة هذه المقاومة أصبحت صفراً ($R'_2\left(\frac{1-1}{1}\right)=0$) وهذا يعني أن الدائرة المكافئة أصبحت مقصورة من جهة الثانوي ، ولذلك فإن هذا الاختبار يسمى أحياناً اختبار الدائرة المقصورة.

بما أن جهة الثانوي أصبحت مقصورة فهذا يعني أن تيار الاختبار سيمر من خلال R_{eq} , X_{eq} فقط. أي أن ($I_1=I'_2$) ، لذلك يمكن من نتائج هذه التجربة وبعد إجراء حسابات بسيطة تحديد قيم R_{eq} , X_{eq} كما يلي ، مع الأخذ بالاعتبار طريقة توصيل ملفات المحرك هل هي على شكل نجمة أو دلتا.

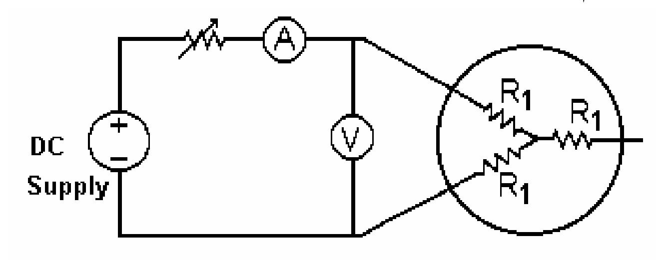
$$R_{eq} = \frac{P}{3I_1^2} \qquad (13\text{ -1})$$

$$Z_{eq} = \frac{V_1}{I_1} \qquad (14\text{ -1})$$

$$X_{eq} = \sqrt{Z_{eq}^2 - R_{eq}^2} \qquad (15\text{ -1})$$

اختبار التيار المستمر DC Test:

هذا الاختبار يجرى من أجل قياس مقاومة ملفات العضو الثابت R_1 وذلك بتوصيل ملفات المحرك كما هو موضح في الشكل رقم (٢٠ -١).



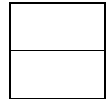
شكل رقم ٢٠ -١: دائرة قياس مقاومة العضو الثابت

في هذا الاختبار يزاد الجهد تدريجياً حتى يصل التيار المار في ملفات المحرك إلى القيمة المقننة وذلك لكي ترتفع درجة حرارة الملفات كما هو الحال في وضع التشغيل الطبيعي ، وذلك لأن المقاومة تتغير بتغير درجة الحرارة ثم تسجل بعد ذلك قيمة الجهد والتيار وتحسب المقاومة كما يلي:

$$2R_1 = \frac{V_{DC}}{I_{DC}}$$

$$R_1 = \frac{V_{DC}}{2I_{DC}} \qquad (16 - 1)$$

ويفضل أن يؤخذ تأثير الخاصية القشرية skin effect بالاعتبار.



أمثلة محلولة

مثال (٤ -١):

نتائج تجربتي عدم الحمل وعدم الحركة لمحرك حثي ثلاثي الأوجه ملفاته موصلة على شكل نجمة كما يلي:

تجربة عدم الحركة	تجربة عدم الحمل
V_L = ٣٠ V	V_L = ٢٢٠ V
P = ١٥٠٠ W	P = ٦٠٠ W
I_L = ٥٠ A	I_L = ٢٠ A

احسب مكونات الدائرة المكافئة التقريبية لهذا المحرك.

الحـل:

أولاً: من نتائج تجربة عدم الحمل نستطيع حساب قيم R_c , X_m كما يلي:

بماأن ملفات المحرك موصلة على شكل نجمة

إذن :

$$V_1 = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{220}{\sqrt{3}} = 127 \quad \text{V}$$

$$\text{I}_o = I_L = 20 \quad \text{A}$$

باستخدام المعادلات من (٩ -١) إلى (١٢ -١) نجري الحسابات التالية:

$$Cos\,\theta = \frac{P}{3V_1 I_o} = \frac{600}{3\times127\times20} = 0.0787$$

$$\theta = Cos^{-1}(0.0787) = 85.48^o$$

$$R_c = \frac{V_1}{I_o Cos\,\theta} = \frac{127}{20\times0.0787} = 80.68 \quad \Omega$$

$$\text{X}_\text{m} = \frac{V_1}{I_o Sin\,\theta} = \frac{127}{20\,Sin(85.48)} = 6.37 \quad \Omega$$

ثانياً: من نتائج تجربة عدم الحركة نستطيع حساب قيم R_{eq} , X_{eq} كما يلي:
بماأن ملفات المحرك موصلة على شكل نجمة
إذن :

$$V_1 = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{30}{\sqrt{3}} = 17.32 \quad \text{V}$$

$$\text{I}_1 = I_L = 50 \quad \text{A}$$

باستخدام المعادلات من (١٣ -١) إلى (١٥ -١) نجري الحسابات التالية:

$$R_{eq} = \frac{P}{3I_2'^2} = \frac{1500}{3\times50^2} = 0.2 \quad \Omega$$

$$\text{Z}_\text{eq} = \frac{V_1}{I_1} = \frac{17.32}{50} = 0.3464 \quad \Omega$$

$$X_{eq} = \sqrt{Z_{eq}^2 - R_{eq}^2}$$

$$= \sqrt{(0.3464)^2 - (0.2)^2} = 0.2828 \quad \Omega$$

مثال (٥ -١):

محرك حثي ثلاثي الأوجه ملفاته موصلة على شكل دلتا ، أجريت له اختبارات تحديد عناصر الدائرة المكافئة فأعطى النتائج التالية:

اختبار التيار المستمر	اختبار الدائرة المفتوحة	اختبار الدائرة المقصورة
V_{DC} = ١٩ V	V_L = ١٢٧ V	V_L = ٣٩,٣ V
I_{DC} = ٢٠ A	I_L = ٧,٥٣ A	I_L = ٣٤,٦٤ A
	P = ١٧٩ W	P = ١٢٦٥ W

احسب مكونات الدائرة المكافئة إذا كان $X_1 = X_2'$

الحـل:

أولاً: من اختبار التيار المستمر

في حالة اختبار التيار المستمر توصل الملفات على شكل نجمة وتحسب قيمة R_1 من المعادلة (١٦ -١) كما يلي:

$$R_1 = \frac{V_{DC}}{2I_{DC}} = \frac{19}{2\times 20} = 0.475 \quad \Omega$$

ثانياً: من نتائج اختبار الدائرة المفتوحة (عدم الحمل) نستطيع حساب قيم R_c , X_m كما يلي:
بماأن ملفات المحرك موصلة على شكل دلتا
إذن :

$$V_1 = V_L = 127 \quad \text{V}$$
$$\text{I}_o = \frac{I_L}{\sqrt{3}} = \frac{7.53}{\sqrt{3}} = 4.347 \quad \text{A}$$

باستخدام المعادلات من (٩ -١) إلى (١٢ -١) نجري الحسابات التالية:

$$Cos\theta = \frac{P}{3V_1 I_o} = \frac{179}{3\times127\times4.347} = 0.108$$
$$\theta = Cos^{-1}(0.108) = 83.8^o$$
$$R_c = \frac{V_1}{I_o Cos\theta} = \frac{127}{4.347\times0.108} = 270.78 \quad \Omega$$
$$\text{X}_\text{m} = \frac{V_1}{I_o Sin\theta} = \frac{127}{4.347 Sin(83.8)} = 29.435 \quad \Omega$$

ثالثاً: من نتائج اختبار الدائرة المقصورة (عدم الحركة) نستطيع حساب قيم R_{eq} , X_{eq} كما يلي:
بماأن ملفات المحرك موصلة على شكل دلتا
إذن :

$$V_1 = V_L = 39.3 \quad \text{V}$$
$$\text{I}_1 = \frac{I_L}{\sqrt{3}} = \frac{34.64}{\sqrt{3}} = 20 \quad \text{A}$$

باستخدام المعادلات من (١٣ -١) إلى (١٥ -١) نجري الحسابات التالية:

$$R_{eq} = \frac{P}{3I_2'^2} = \frac{1265}{3\times20^2} = 1.054 \quad \Omega$$

$$\mathrm{Z_{eq}} = \frac{V_1}{I_1} = \frac{39.3}{20} = 1.965 \quad \Omega$$

$$X_{eq} = \sqrt{Z_{eq}^2 - R_{eq}^2}$$

$$= \sqrt{(1.965)^2 - (1.054)^2} = 1.658 \quad \Omega$$

بما أن:

$$R_{eq} = R_1 + R_2^{'}$$

$$R_1 = 0.475 \quad \Omega$$

إذن:

$$R_2^{'} = R_{eq} - R_1 = 1.054 - 0.475 = 0.579 \quad \Omega$$

بما أن:

$$X_1 = X_2^{'}$$

$$X_{eq} = X_1 + X_2^{'}$$

إذن:

$$X_1 = X_2^{'} = \frac{X_{eq}}{2} = \frac{1.658}{2} = 0.829 \quad \Omega$$

أسـئلة و تماريــن

١- لماذا اختبار عدم الحمل يسمى أحياناً اختبار الدائرة المفتوحة؟
٢- لماذا اختبار عدم الحركة يسمى أحياناً اختبار الدائرة المقصورة ؟
٣- لماذا تحدد R_c , X_m باستخدام اختبار عدم الحمل وليس اختبار عدم الحركة؟
٤- لماذا تحدد R_{eq} , X_{eq} باستخدام اختبار عدم الحركة وليس اختبار عدم الحمل؟
٥- لماذا يسلط الجهد تدريجياً على المحرك في اختبار عدم الحركة؟؟
٦- ما هي الخاصية القشرية skin effect ؟

٧- محرك حثي ثلاثي الأوجه HP ٥ ذو أربعة أقطاب ، عند إجراء تجربتي اللاحمل والقصر له أعطى النتائج التالية:

تجربة عدم الحمل ٢٢٠ V, ٣.٨٦ A, ٥٥٠ W

تجربة القصر ٣٥ V, ١٢.٩ A, ٤٩٠ W

فإذا كانت ملفات المحرك موصله على شكل دلتا احسب مكونات الدائرة المكافئة لهذا المحرك

٨- محرك حثي ثلاثي الأوجه قدرته KW ٢٩.٨٤ ملفاته موصلة على شكل Δ عند اختباره أعطى النتائج التالية :

تجربة عدم الحمل ٤١٥ V, ٢١ A, ١٢٥٠ W

تجربة عدم الحركة ١٠٠ V, ٤٥ A, ٢٧٣٠ W

أحسب مكونات الدائرة المكافئة التقريبية لهذا المحرك.

٩- محرك حثي ثلاثي الأوجه قدرته ٢٠ HP ملفاته موصلة على شكل Y عند إجراء تجربتي اللاحمل والقصر له أعطى النتائج التالية :

تجربة اللاحمل ٣٨٠ V, ١٦.٥ A, ١٠٥٠ W

تجربة القصر ٨٦ V, ٣٢ A, ١٨٥٤ W

احسب مكونات الدائرة المكافئة لهذا المحرك إذا كان $R_١ = R`_٢$ & $X_١ = X`_٢$

الفصل الثالث

القـدرة و العـزم

أولاً : القدرة في المحرك الحثي ثلاثي الأوجه

عادةً ما يوصف المحرك الحثي ثلاثي الأوجه بأنه محول دوار ، الدخل قدره كهربائية في شكل جهود وتيارات ثلاثية الأوجه والخرج هو قدره كهربائية تؤخذ من ملفات الثانوي (في المحول) ، بينما في المحرك الحثي تكون ملفات الثانوي (العضو الدوار) مقصورة و بالتالي لا تعطي قدره كهربائية و إنما تعطي قدره ميكانيكية تظهر على العمود. العلاقة بين القدرة الكهربائية الداخلة و القدرة الميكانيكية الخارجة موضحه في الشكل رقم (٢١ -١) الذي يصف كيفية انسياب القدرة داخل المحرك.

القدرة الداخلة إلى العضو الثابت تعتمد قيمتها على الحمل المحمل به المحرك و المتمثل بالتيار و معامل القدرة .وتعطى من المعادلة التالية:

$$P_1 = 3V_1 I_1 Cos\theta \qquad (17\text{ - }1)$$

حيث:

V_1: جهد الوجه للعضو الثابت

I_1: تيار الوجه للعضو الثابت

θ: الزاوية بين الجهد والتيار وجيب تمامها هو معامل القدرة

هذه القدرة الداخلة P_1 سيفقد منها جزء في مقاومة ملفات العضو الثابت R_1 على شكل حرارة وتسمى مفاقيد نحاسية في العضو الثابت و تحسب من المعادلة التالية:

$$P_{Cu1} = 3I_1^2 R_1 \qquad (18\text{-}1)$$

الجزء المتبقي من القدرة الداخلة P_1 سيفقد جزء منها في القلب الحديدي للعضو الثابت وذلك بسب وجود التيارات الدوامية وظاهرة التخلف المغناطيسي وتسمى مفاقيد حديدية P_{Core} ، هذه القدرة المفقودة

تمثلها المقاومة R_c في الدائرة المكافئة. مجموع هذان النوعان من المفاقيد في العضو الثابت (المفاقيد النحاسية في R_1 و المفاقيد الحديدية في R_c) تسمى مفاقيد العضو الثابت ويرمز لها بالرمز P_{St}.

$$P_{St} = P_{Cu1} + P_{Core} \qquad (19-1)$$

الجزء المتبقي من القدرة الداخلة P_1 سينتقل عبر الثغرة الهوائية إلى العضو الدوار وتسمى القدرة المنتقلة عبر الثغرة الهوائية من العضو الثابت إلى العضو الدوار ويرمز لها بالرمز P_g.

$$P_g = P_1 - P_{St} \qquad (20-1)$$

ويمكن حسابها أيضا من المعادلة التالية:

$$P_g = 3 I_2^{'2} \frac{R_2^{'}}{S} \qquad (21-1)$$

هذه القدرة الداخلة إلى العضو الدوار P_g سيفقد جزء منها في مقاومة ملفات العضو الدوار على شكل حرارة و تسمى مفاقيد نحاسية في العضو الدوار وتحسب من المعادلة التالية:

$$P_{Cu\,2} = 3 I_2^{'2} R_2^{'} \qquad (22-1)$$

الجزء المتبقي من القدرة الداخلة إلى العضو الدوار يتحول من قدره كهربائية إلى قدره ميكانيكية ويسمى القدرة الميكانيكية المتحولة ويرمز لها بالرمز P_m وتحسب من المعادلة التالية:

$$P_m = P_g - P_{Cu2} \qquad (23-1)$$

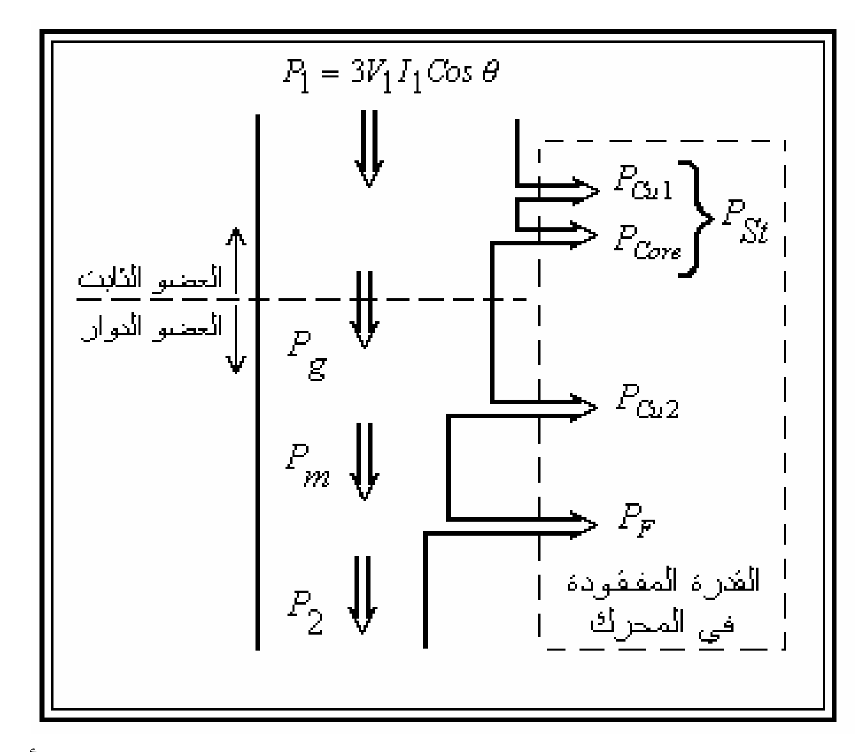
المقاومة $R_2^{'}\left(\frac{1-S}{S}\right)$ في الدائرة المكافئة هي التي تمثل القدرة الميكانيكية المتحولة وبالتالي يمكن حساب القدرة الميكانيكية المتحولة أيضا من المعادلة التالية:

$$P_m = 3 I_2^{'2} R_2^{'} \frac{(1-S)}{S} \qquad (24-1)$$

القدرة الميكانيكية المتحولة P_m سيفقد جزء منها بسب الاحتكاك الذي يتعرض له العضو الدوار مع الهواء و حوامل العمود. مفاقيد الاحتكاك هذه يرمز لها بالرمز P_F. وبالتالي فإن القدرة الميكانيكية الخارجة $P_٢$ هي الجزء المتبقي من القدرة الميكانيكية المتحولة بعد خصم القدرة المفقودة بسبب الاحتكاك كما يلي:

$$P_2 = P_m - P_F \qquad (25\text{-}1)$$

الشكل رقم (٢١ -١) يلخص كيفية انتقال القدرة داخل المحرك الحثي ثلاثي الأوجه.



شكل رقم ٢١ -١: مخطط سريان القدرة داخل المحرك الحثي ثلاثي الأوجه

يلاحظ أن المفاقيد الحديدية في العضو الدوار مهملة وذلك لقلتها. ما هو سبب قلة المفاقيد الحديدية في العضو الدوار ؟

من المعادلات (٢١ -١)، (٢٢ -١)، (٢٤ -١) يمكن لنا إجراء المقارنة التالية:

P_g	P_m	P_{Cu2}
$3I_2'^2 \frac{R_2'}{S}$	$3I_2'^2 R_2' \frac{(1-S)}{S}$	$3I_2'^2 R_2'$

نلاحظ من المقارنة أعلاه أنه عند ضرب P_g بالانزلاق S فإننا نحصل على P_{Cu2}

إذن:

$$P_{Cu2} = SP_g \qquad (26 - 1)$$

وكذلك عند ضرب P_g بالمعامل (S-١) فإننا نحصل على P_m

إذن:

$$P_m = (1 - S) P_g \qquad (27 - 1)$$

يتضح من هذا أن معامل الانزلاق S يلعب دوراً هاماً جداً في تحديد نسبة المفاقيد النحاسية P_{Cu2} في العضو الدوار ، فعند زيادة الانزلاق تزداد المفاقيد النحاسية في العضو الدوار وبالتالي يجب أن يكون الانزلاق صغيراً بقدر الإمكان لكي تقل المفاقيد النحاسية في العضو الدوار وبالتالي تزداد كفاءة المحرك.

أمثلة محلولة :

مثال(٦ -١):

محرك حثي ثلاثي الأوجه ذو ستة أقطاب يعمل على مصدر جهده ٤٤٠ V وتردده ٦٠ Hz فإذا كانت القدرة الداخلة إلى العضو الدوار ٨٠ kw وتردد التيار في العضو الدوار ١,٦٧ Hz

احسب ما يلي:

أ) الانزلاق

ب) سرعة العضو الدوار

جـ) القدرة الميكانيكية المتحولة

د) القدرة المفقودة في العضو الدوار

هـ) مقاومة ملفات العضو الدوار لكل وجه إذا كان التيار المار في ملفات العضو الدوار ٦٥ A

الحـل:

أ) من المعادلة (٨ -١)

$$S = \frac{F_r}{F_s} = \frac{1.67}{50} = 0.0334$$

ب) نحسب أولاً السرعة التزامنية من المعادلة (١ -١):

$$ns = \frac{120 \ f_S}{p} = \frac{120 \times 50}{6} = 1000 \quad \text{rpm}$$

ثم نوجد سرعة العضو الدوار من المعادلة (٧ -١):

$$n = ns(1 - S) = 1000\,(1 - 0.0334) = 966.6 \quad \text{rpm}$$

جـ) من المعادلة (٢٧ -١)

$$P_m = (1 - S)P_g = (1 - 0.0334) \times 80 = 77.33 \quad \text{kw}$$

د) من المعادلة (٢٦ -١)

$$P_{Cu\,2} = SP_g = 0.0334 \times 80 = 2.67 \quad \text{kw}$$

هـ) من المعادلة (٢٢ -١) نستطيع إيجاد مقاومة ملفات العضو الدوار كما يلي:

$$R_2^{'} = \frac{P_{Cu\,2}}{3I_2^{'2}} = \frac{2670}{3 \times (65)^2} = 0.21 \quad \Omega$$

مثال (٧ -١):

محرك حثي ثلاثي الأوجه ذو ثمانية أقطاب يتغذى من مصدر تردده ٥٠Hz ويدور بسرعة ٧٣٢ rpm فإذا كانت القدرة الداخلة إلى المحرك ٤٠ kw و مفاقيد العضو الثابت ١ kw و المفاقيد الميكانيكية بسبب الاحتكاك ٢ kw احسب ما يلي:

أ) معامل الانزلاق

ب) القدرة الميكانيكية الخارجة بالحصان

جـ) المفاقيد النحاسية في العضو الدوار

د) كفاءة المحرك

الحـل:

أ) نحسب أولاً السرعة التزامنية من المعادلة (١ -١):

$$ns = \frac{120 \;\; f_s}{p} = \frac{120 \times 50}{8} = 750 \quad \text{rpm}$$

ثم نحسب الانزلاق من المعادلة (٦ -١):

$$S = \frac{ns - n}{ns} = \frac{750 - 732}{750} = 0.024$$

ب) بتتبع مسار انتقال القدرة داخل المحرك في الشكل (٢١ -١) نستطيع إيجاد القدرة الميكانيكية الخارجة كما يلي:

$$P_g = P_1 - P_{St} = 40 - 1 = 39 \quad \text{kw}$$

$$p_m = (1 - S)\, p_g = (1 - 0.024) \times 39 = 38.064 \quad \text{kw}$$

$$P_2 = P_m - P_F = 38.064 - 2 = 36.064 \quad \text{kw}$$

$$P_2(\text{hp}) = \frac{36.064}{0.746} = 48.343 \quad \text{hp}$$

جـ) من المعادلة (٢٦ -١):

$$P_{Cu\,2} = SP_g = 0.024 \times 39 = 0.936 \quad \text{kw}$$

د) كفاءة المحرك تحسب كما يلي:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100 = \frac{36.064}{40} \times 100 = 90.16 \;\%$$

ثانياً: العـزم في المحرك الحثي ثلاثي الأوجه

العزم أو عزم الدوران (Torque) هو القوة المؤثرة تأثيراً إلتوائياً على جسم ما فينتج عنها دوران ذلك الجسم حول مركزه ، ويقاس بوحدة نيوتن متر Nm ، هذا هو التعريف العام للعزم.

أما العزم الذي يؤثر على العمود في المحرك الحثي ثلاثي الأوجه فهو حاصل قسمة القدرة الميكانيكية المتحولة P_m على السرعة الزاوية لدوران العمود طبقاً للمعادلة التالية:

$$T = \frac{P_m}{\omega} \qquad \text{Nm} \qquad (28\text{ - }1)$$

حيث ω هي السرعة الزاوية للعمود.

وحيث أن السرعة الزاوية للعمود متغيرة بتغير الحمل ، لذلك يفضل استخدام السرعة التزامنية الزاوية بدلاً منها ، ولكن نستخدم معها القدرة المنتقلة خلال الثغرة الهوائية P_g بدلاً من استخدام القدرة الميكانيكية المتحولة P_m طبقاً للمعادلة التالية:

$$T = \frac{P_g}{\omega_s} \qquad \text{Nm} \qquad (29\text{ - }1)$$

حيث ω_s هي السرعة الزاوية للمجال المغناطيسي الدوار وتحسب من المعادلة التالية:

$$\omega_s = \frac{2\pi\, ns}{60} \qquad \text{rad/sec.} \qquad (30\text{ - }1)$$

بالرجوع إلى المعادلة رقم (٢١ -١) والمعادلة (٣٠ -١) والتعويض عنهما في المعادلة (٢٩ -١) يمكن أن نعبر عن العزم كما يلي:

$$T = \frac{P_g}{\omega_s} = \frac{3 I_2'^2 R_2' / S}{2\pi\ ns / 60}$$

وبعد قليل من الترتيب تصبح المعادلة السابقة كما يلي:

$$T = K \cdot I_2'^2 \cdot \frac{R_2'}{S} \qquad \text{Nm} \qquad (31\text{ - }1)$$

حيث:

$$K = \frac{3 \times 60}{2\pi\ ns} \qquad (32\text{ - }1)$$

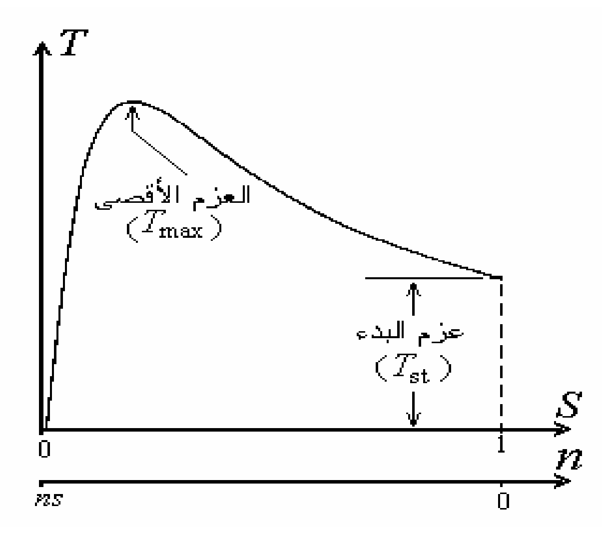
بالرجوع إلى الدائرة المكافئة التقريبية في الشكل (١٥ -١) يمكن أن نوجد التيار $I_2^{'}$ كما يلي:

$$I_2^{'} = \frac{V_1}{Z_{eq}} = \frac{V_1}{\sqrt{(R_1 + R_2^{'}/S)^2 + X_{eq}^2}} \qquad (33\ -1)$$

بالتعويض عن قيمة التيار $I_2^{'}$ في المعادلة رقم (٣١ -١) يصبح العزم كما يلي:

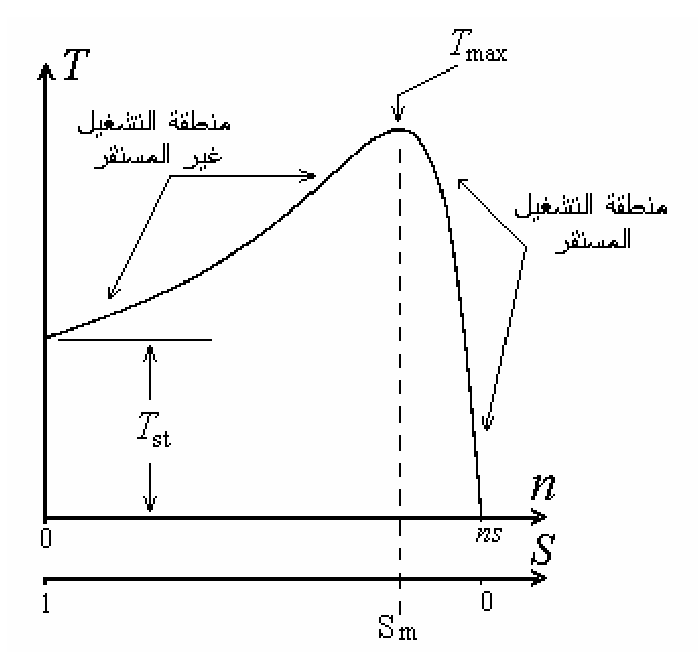
$$T = K \cdot \frac{V_1^2}{(R_1 + R_2^{'}/S)^2 + X_{eq}^2} \cdot \frac{R_2^{'}}{S} \qquad (34\ -1)$$

هذه المعادلة (٣٤ -١) تمثل العلاقة بين الانزلاق والعزم ومنها يمكن حساب العزم عند أي قيمة للانزلاق. عند رسم العلاقة بين (العزم/الانزلاق) في المعادلة (٣٤ -١) فإننا نحصل على منحنى مشابه للمنحنى الموضح في الشكل التالي:



شكل رقم ٢٢ -١: العلاقة بين (العزم/الانزلاق) أو (العزم /السرعة)

يلاحظ في المنحنى أعلاه أن محور الانزلاق في الوضع الطبيعي بينما محور السرعة معكوس ، لذلك يفضل إعادة رسم المنحنى معكوساً لكي يتناسب مع محور السرعة كما هو موضح في الشكل التالي:



شكل رقم ٢٣ -١: العلاقة بين (العزم/الانزلاق) أو (العزم /السرعة)

منحنى (السرعة/العزم) الموضح في الشكل رقم (٢٣ -١) ينقسم إلى منطقتين: الأولى منطقة التشغيل غير المستقر وهي المنطقة التي تسبق موضع العزم الأقصى ، في هذه المنطقة لا يستطيع المحرك إدارة أي حمل مهما كان وإذا حدث أن حمل المحرك في هذه المنطقة فإنه سوف يتباطئ حتى يتوقف عن الدوران.
المنطقة الأخرى هي منطقة التشغيل المستقر وهي المنطقة التي بعد موضع العزم الأقصى ، في هذه المنطقة يستطيع المحرك إدارة الحمل المقنن له ، وعادةً يكون عزم الحمل الكامل مساوياً تقريباً لنصف العزم الأقصى للمحرك بشرط أن لا يزيد عن عزم البدء ، وفي حالة كون عزم الحمل أكبر من عزم البدء فإن المحرك لا يستطيع بدء الدوران ، لذلك ينصح في هذه الحالة بدء تشغيل المحرك بحمل خفيف وبعد أن يصل إلى منطقة التشغيل المستقر تضاف بقية الأحمال.

التحكم في موضع العزم الأقصى:

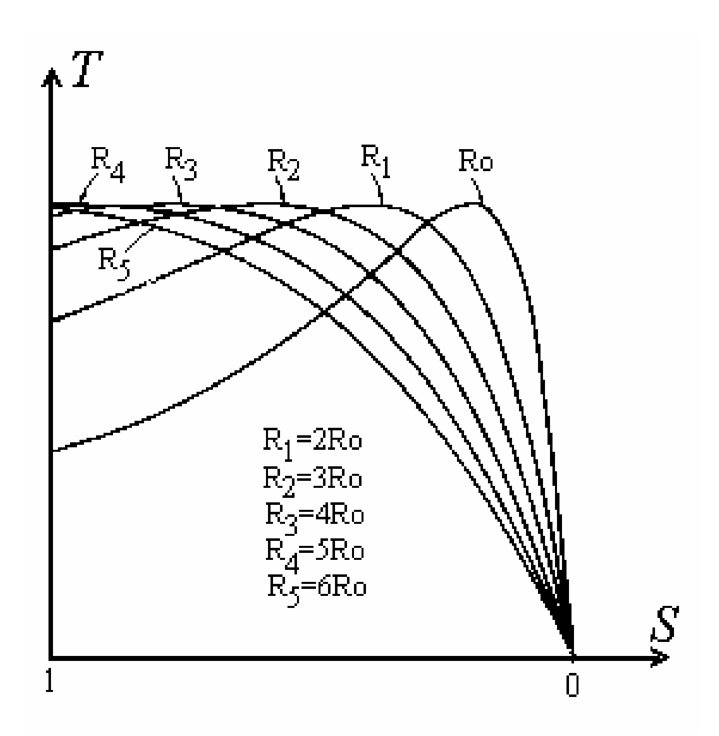
معادلة العزم (٣٤ -١) تعتبر دالة رياضية بدلالة الانزلاق (S) ، القيمة العظمى لها (T_{max}) يتغير موضعها بتغير ثوابت الدائرة المكافئة الداخلة فيها ، وإذا أردنا إيجاد قيمة الانزلاق الذي تتحقق عنده القيمة العظمى لهذه الدالة فإن ذلك ممكن ، وذلك بعد مفاضلتها ثم مساواتها بالصفر كما يلي :
قبل إجراء عملية التفاضل يفضل إهمال معاوقة العضو الثابت للتبسيط لتصبح المعادلة كما يلي:

$$T(S) = K \cdot \frac{V_1^2}{(R_2'/S)^2 + X_2'^2} \cdot \frac{R_2'}{S} \qquad (35 - 1)$$

بعد مفاضلة المعادلة (٣٥ -١) بالنسبة للانزلاق ثم مساواتها بالصفر نحصل على قيمة الانزلاق الذي يتحقق عنده العزم الأقصى للمحرك كما يلي:

$$S_m = \frac{R_2'}{X_2'} \qquad (36 - 1)$$

إذن: موضع العزم الأقصى (T_{max}) يمكن أن يتغير وذلك بتغير النسبة (R_2'/X_2')، ويمكن تحقيق ذلك عملياً بإضافة مقاومة موصله على التوالي مع ملفات العضو الدوار الملفوف (ذو حلقات الانزلاق) وبالتالي يتغير موضع العزم الأقصى للمحرك بتغيير قيمة S_m كما هو موضح في الشكل التالي:



شكل رقم ٢٤ -١: تأثير تغير مقاومة العضو الدوار على موضع العزم الأقصى

ويمكن أيضا من المعادلة (٣٥ -١) حساب قيمة العزم الأقصى للمحرك وذلك عندما ننقل موضع العزم الأقصى إلى لحظة البدء أي أن ($S_m = 1 \ \& \ R'_2 = X'_2$) فتصبح المعادلة كما يلي:

$$T_{\max} = K \cdot \frac{V_1^2}{2X'_2} \qquad (37\text{-}1)$$

حساب عزم البدء:

يلاحظ من الشكل رقم (٢٤ -١) أن عزم البدء يزداد كلما زادت مقاومة ملفات العضو الدوار، أي أنه يمكن التحكم بقيمة عزم البدء وذلك بتغيير قيمة مقاومة ملفات العضو الدوار R'_2 وذلك بإضافة مقاومة موصلة على التوالي مع ملفات العضو الدوار كما هو واضح من المنحنيات في الشكل رقم (٢٤ -١). أما قيمة عزم البدء فيمكن إيجادها مباشرة من المعادلة (٣٤ -١) عندما يكون ($S = 1$) كما يلي:

$$T_{Start} = K \cdot \frac{V_1^2}{(R_1 + R'_2)^2 + X_{eq}^2} \cdot R'_2 \qquad (38\text{-}1)$$

أمثلة محلولة:

مثال (٨ -١):

محرك حثي ثلاثي الأوجه ملفاته موصلة على شكل دلتا يتغذى من مصدر جهده ٢٤٠ V عناصر الدائرة المكافئة له كما يلي:

$$R_1 = 0.4 \ \Omega \qquad R'_2 = 0.6 \ \Omega$$
$$X_1 = 1.0 \ \Omega \qquad X'_2 = 1.0 \ \Omega$$

فإذا كانت السرعة التزامنية لهذا المحرك ١٨٠٠ rpm وسرعة العضو الدوار عند الحمل الكامل ١٧١٠ rpm، احسب ما يلي:

أ) تيار الحمل الكامل

ب) عزم الحمل الكامل

جـ) تيار البدء

د) عزم البدء

هـ) أقصى عزم للمحرك وعند أي انزلاق يحدث

الحــل:

بماأن ملفات المحرك موصلة على شكل دلتا فإن:

$$V_1 = V_L = 240 \quad V$$

أ) لحساب تيار الحمل الكامل أو عزم الحمل الكامل يجب أولاً أن نحسب الانزلاق الذي يحدث عنده الحمل الكامل كما يلي:

$$S = \frac{ns - n}{ns} = \frac{1800 - 1710}{1800} = 0.05$$

في الدائرة المكافئة التقريبية يعتبر أن $I_1 \approx I_2'$ وبالتالي يمكن حساب تيار الحمل الكامل من المعادلة (٣٣ -١) كما يلي:

$$I_1 \approx I_2' = \frac{V1}{\sqrt{(R_1 + R_2'/S)^2 + X_{eq}^2}}$$

$$= \frac{240}{\sqrt{(0.4 + 0.6/0.05)^2 + (1+1)^2}} = 19.11 \quad A$$

ب) عزم الحمل الكامل يحسب بعد إيجاد التيار من المعادلة (٣١ -١) كما يلي:

$$K = \frac{3 \times 60}{2\pi \ ns} = \frac{3 \times 60}{2\pi \times 1800} = 0.0159$$

$$T = K \cdot I_2'^2 \cdot \frac{R_2'}{S}$$

$$= 0.0159 \times (19.11)^2 \times \frac{0.6}{0.05} = 69.74 \text{ Nm}$$

جـ) تيار البدء يحسب من لمعادلة (٣٣ -١) عندما S=١ كما يلي:

$$I_1 \approx I_2' = \frac{V1}{\sqrt{(R_1 + R_2'/S)^2 + X_{eq}^2}}$$

$$= \frac{240}{\sqrt{(0.4 + 0.6/1)^2 + (1+1)^2}} = 107.33 \quad A$$

د) عزم البدء يحسب مباشرة من المعادلة (٣٨ -١) أو باستخدام المعادلة (٣١ -١) بعد التعويض عن قيمة تيار البدء في الفقرة (جـ) والتعويض عن الانزلاق بالواحد كما يلي:

$$T = K \cdot I_2'^2 \cdot \frac{R_2'}{S}$$

$$= 0.0159 \times (107.33)^2 \times 0.6 = 109.9 \text{ Nm}$$

هـ) العزم الأقصى يحسب مباشرة من المعادلة (٣٧ -١) ، أما الانزلاق الذي يحدث عنده هذا العزم فيحسب من المعادلة (٣٦ -١) كما يلي:

$$T_{\max} = K \cdot \frac{V_1^2}{2X_2'} = 0.0159 \times \frac{(240)^2}{2 \times 1} = 457.92 \text{ Nm}$$

$$\text{S}_\text{m} = \frac{R_2'}{X_2'} = \frac{0.6}{1} = 0.6$$

أسـئلة و تماريــن

١- هل زيادة أو نقص معامل الانزلاق يؤثر على كفاءة المحرك؟ كيف ذلك؟
٢- لماذا المفاقيد الحديدية في العضو الدوار مهملة ؟
٣- هل زيادة المفاقيد النحاسية في العضو الدوار يؤثر على سرعة المحرك؟ كيف ذلك؟
٤- ما لمقصود بعزم الدوران Torque ؟
٥- ما لمقصود بالسرعة الزاوية؟
٦- كيف يمكن التحكم في موضع العزم الأقصى للمحرك؟
٧- كيف يمكن التحكم في عزم البدء؟
٨- هل التحكم في موضع العزم الأقصى يؤثر على كفاءة المحرك؟ كيف ذلك؟

٩- محرك حثي ثلاثي الأوجه سرعته التزامنية ١٠٠٠ rpm يعطي قدره ميكانيكية متحولة قدرها ٥ hp عندما تكون سرعة العضو الدوار ٩٣٥ rpm ، احسب القدرة الداخلة إلى هذا المحرك إذا كانت مفقودات العضو الثابت ٤٠٠ w.

١٠- محرك حثي ثلاثي الأوجه ذو ستة أقطاب يتغذى من مصدر جهده ٥٠٠ V وتردده ٦٠ Hz ، يعطي قدره ميكانيكية خارجة قدرها ٢٠ hp عندما تكون سرعته ١١٤٠ rpm ، فإذا كانت مفاقيد الاحتكاك ١ hp ، احسب ما يلي:
أ) معامل الانزلاق
ب) المفاقيد النحاسية في العضو الدوار
ج) القدرة الداخلة إلى المحرك إذا كانت مفاقيد العضو الثابت ١٥٠٠ W
د) تيار الخط الداخل إلى المحرك إذا كان معامل القدرة ٠٫٨٦

١١- إذا كانت القدرة الكهربائية الداخلة إلى محرك حثي ثلاثي الأوجه ذو أربعة أقطاب هي ٢٠٠ KW عندما تكون سرعته ١٧١٠ rpm ويتغذى على مصدر جهده ٤٥٠ V وتردده ٦٠ Hz فإذا كانت مفاقيد العضو الثابت ٣ KW و المفاقيد الميكانيكية ٦ KW، احسب ما يلي:

أ) معامل الانزلاق

ب) القدرة الميكانيكية المتحولة
جـ) المفاقيد النحاسية في العضو الدوار
د) كفاءة المحرك

١٢- محرك حثي ثلاثي الأوجه ذو أربعة أقطاب يعمل على مصدر جهده V ٢٢٠ وتردده Hz ٥٠ ، سرعة المحرك rpm ١٤٤٠ عند معامل قدره ٠.٨ متخلف ، القدرة الخارجة منه KW ١٠.٨ ، فإذا كانت مفاقيد العضو الثابت W ١٠٦٠ و المفاقيد الميكانيكية W ٣٩٠ احسب ما يلي:
أ) المفاقيد النحاسية في العضو الدوار .
ب) تردد التيارات في العضو الدوار .
جـ) تيار الخط .
د) كفاءة المحرك

١٣- محرك حثي ثلاثي الأوجه ذو أربعة أقطاب يعمل على مصدر جهده V ٢٢٠ وتردده Hz ٦٠ ، سرعة المحرك rpm ١٧١٠ عند معامل قدره ٠.٨٣ متخلف ، القدرة الخارجة منه KW ١١ ، فإذا كانت مفاقيد العضو الثابت W ١١٠٠ و المفاقيد الميكانيكية W ٤٢٠ احسب ما يلي:
أ) المفاقيد النحاسية في العضو الدوار
ب) تردد التيارات في العضو الدوار
جـ) تيار الخط

١٤- محرك حثي ثلاثي الأوجه ذو ثمانية أقطاب يعمل على مصدر جهده V ٣٨٠ وتردده Hz ٦٠، فإذا كانت سرعة المحرك عند الحمل الكامل rpm ٨٦٤ ، القدرة الداخلة إليه KW ١٠، وكانت مفاقيد العضو الثابت W ٦٠٠ و المفاقيد الميكانيكية W ٣٥٠ احسب ما يلي:
أ) المفاقيد النحاسية في العضو الدوار .
ب) كفاءة المحرك .
جـ) عزم المحرك عند الحمل الكامل .

١٥- محرك حثي ثلاثي الأوجه ذو أربعة أقطاب يعمل على مصدر جهده ٣٨٠ V وتردده ٦٠ Hz،
عناصر الدائرة المكافئة لهذا المحرك كما يلي:

$R_1 = ٠,١٢\ \Omega$ $\quad R`_2 = ٠,١٦\ \Omega$

$X_1 = ٠,٤٥\ \Omega$ $\quad X`_2 = ٠,٥٢\ \Omega$

فإذا كانت ملفات المحرك موصلة على شكل نجمة احسب ما يلي:

أ) تيار البدء .

ب) عزم البدء .

جـ) العزم الأقصى للمحرك وعند أي انزلاق .

د) كم عزم البدء عند إضافة مقاومة قيمتها ١ Ω الى كل وجه من أوجه العضو الدوار

١٦- محرك حثي ثلاثي الأوجه ملفاته موصلة على شكل دلتا يتغذى من مصدر جهده ٢٢٠ V ،
عناصر الدائرة المكافئة له كما يلي:

$R_1 = ٠,٤\ \Omega$, $R_2' = ٠,٦\ \Omega$

$X_1 = ٠,٨٢\ \Omega$, $X_2' = ٠,٨٦\ \Omega$

فإذا كانت السرعة التزامنية لهذا المحرك ١٥٠٠ rpm وسرعة العضو الدوار عند الحمل الكامل ١٤٤٠ rpm ، احسب ما يلي:

أ) عزم الحمل الكامل

ب) عزم البدء

١٧- محرك حثي ثلاثي الأوجه ذو أربعة أقطاب يعمل على مصدر جهده ٣٨٠ V وتردده ٦٠ Hz ،
عناصر الدائرة المكافئة لهذا المحرك كما يلي:

$R_1 = ٠,١٢\ \Omega$ $\quad R`_2 = ٠,١٦\ \Omega$

$X_1 = ٠,٤٥\ \Omega$ $\quad X`_2 = ٠,٥٢\ \Omega$

فإذا كانت ملفات المحرك موصلة على شكل نجمة احسب ما يلي:

أ) تيار البدء

ب) عزم البدء

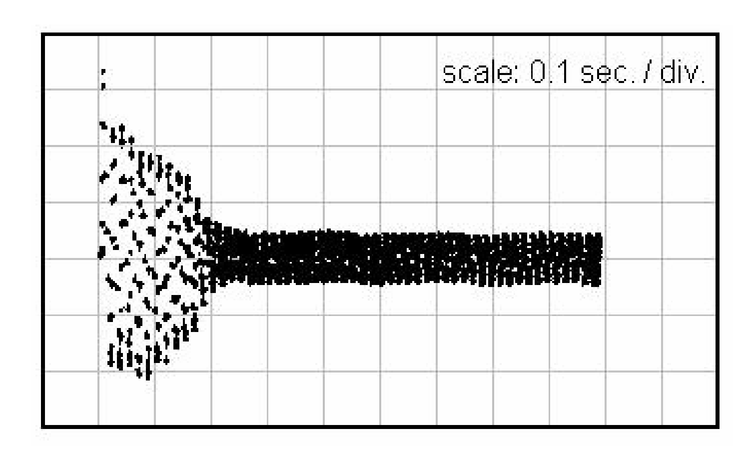
جـ) العزم الأقصى للمحرك وعند أي انزلاق

الفصل الرابع

طرق بدء الحركة والتحكم في السرعة

طرق بدء الحركة

بالرجوع إلى الدائرة المكافئة نجد أن المقاومة $R'_2\left(\frac{1-S}{S}\right)$ تعتمد على قيمة الانزلاق ، وحيث إن قيمة الانزلاق تكون مساوية للواحد عند بدء تشغيل المحرك ، فهذا يعني أن المقاومة $R'_2\left(\frac{1-S}{S}\right)$ أصبحت مقصورة عند البدء لأن ($R'_2\left(\frac{1-1}{1}\right)=0$) وهذا يعني أن تيار البدء أصبح عالي جداً. (تيار البدء عادةً يتراوح من ٦إلى ٨ أضعاف تيار الحمل الكامل) ،انظر الشكل رقم (٢٥ -١).



شكل رقم ٢٥ -١: تيار البدء لمحرك صغير (الصورة بواسطة الأوسيلسكوب)

هذا التيار العالي عند البدء يتسبب في وجود بعض المشاكل مثل:

١- رفع درجة حرارة ملفات المحرك مما يؤدي مع التكرار إلى انهيار عزلها .

٢- التأثير على وسائل توصيل الكهرباء إلى المحرك كالكيابل والقواطع وأجهزة الحماية .

٣- حدوث هبوط في جهد الأجهزة المشتركة مع المحرك في نفس الخط .

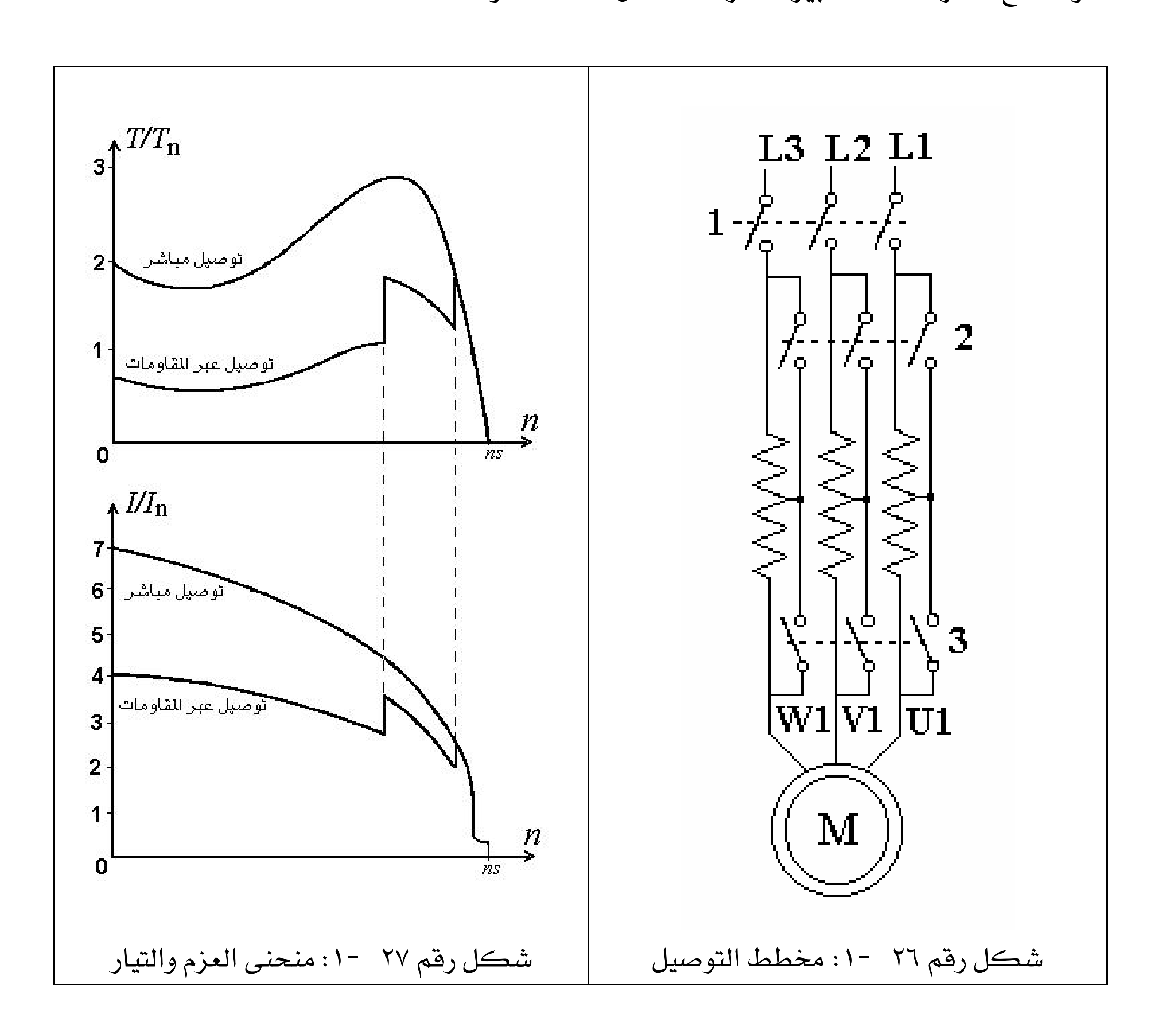
لذلك لابد من اتخاذ بعض التدابير للتقليل من قيمة تيار البدء خصوصاً في المحركات الكبيرة.

فيما يلي عدة طرق لتقليل تيار البدء جميعها تعتمد على المعادلة (٣٩ -١) وذلك إما بتقليل البسط (الجهد) أو بزيادة المقام (معاوقات العضو الثابت أو الدوار).

$$I_{Start} = \frac{V_1}{\sqrt{(R_1 + R_2^{'})^2 + X_{eq}^2}} \qquad (39\ -1)$$

١ـ توصيل مقاومات على التوالي مع ملفات العضو الثابت :

إن توصيل مقاومات على التوالي مع ملفات العضو الثابت يؤدي إلى تقليل الجهد المسلط على العضو الثابت وبالتالي يقل تيار البدء طبقاً للمعادلة (٣٩ -١) ، ثم بعد اجتياز فترة البدء يمكن إلغاء هذه المقاومات تدريجياً. عيب هذه الطريقة هو زيادة المفاقيد النحاسية مما يجعلها غير مناسبة للاستخدام خصوصاً مع المحركات الكبيرة انظر الأشكال (٢٦ -١) و (٢٧ -١).

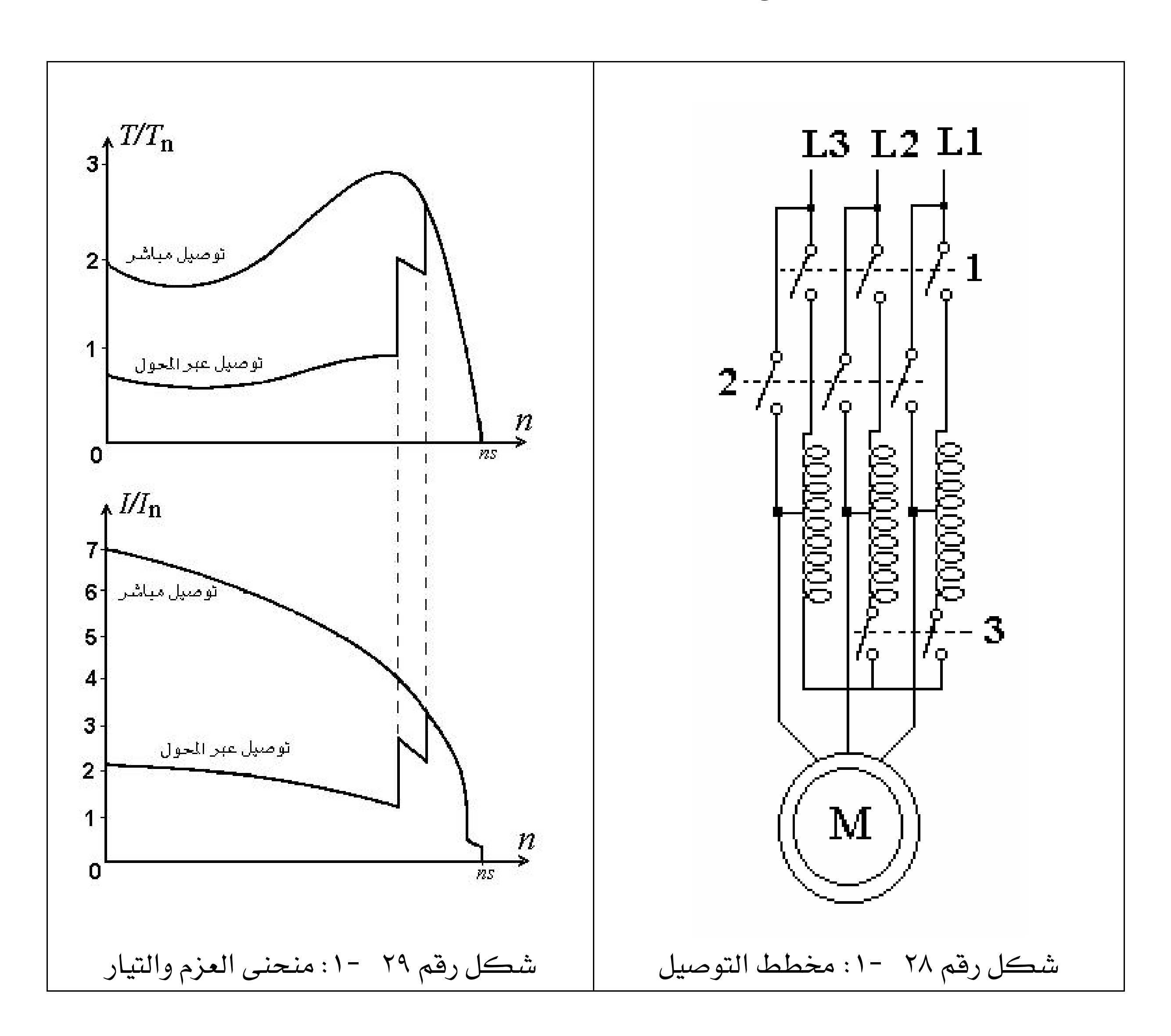


شكل رقم ٢٧ -١ : منحنى العزم والتيار

شكل رقم ٢٦ -١ : مخطط التوصيل

٢ـ باستخدام محول ذاتي:

في هذه الطريقة يتم توصيل أطراف العضو الثابت إلى محول ذاتي ثلاثي الأوجه بحيث يخفض الجهد المسلط على ملفات العضو الثابت إلى قيمة تتناسب مع تيار البدء المسموح به ، وبعد اجتياز المحرك لفترة البدء يتم تسليط جهد المصدر كاملاً على ملفات العضو الثابت وذلك بفصل المحول. هذه الطريقة مثالية جداً حيث لا يوجد فيها أي قدره مفقودة. كما أنها تعتبر الخيار الأفضل للمحركات التي تم توصيل ملفاتها داخلياً من قبل المصنع على شكل نجمة. انظر الأشكال (٢٨ -١) و (٢٩ -١).

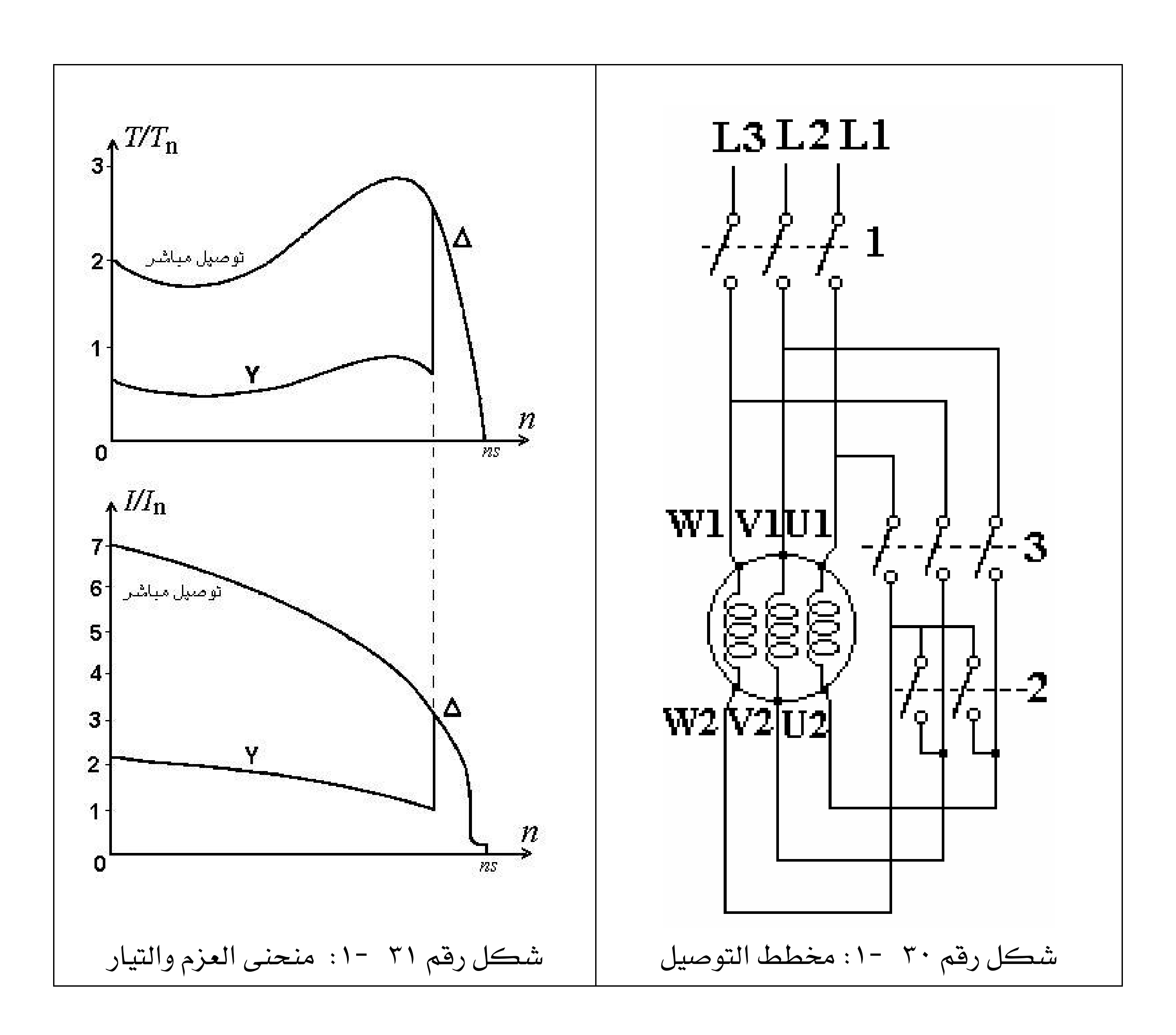


شكل رقم ٢٩ -١: منحنى العزم والتيار

شكل رقم ٢٨ -١: مخطط التوصيل

٣ـ طريقة تغيير توصيل ملفات العضو الثابت من نجمة إلى دلتا :

هذه الطريقة مناسبة للحركات ذات الستة أطراف والتي توصل ملفاتها على شكل دلتا أثناء التشغيل العادي حيث توصل ملفات العضو الثابت عند البدء على شكل نجمة ونتيجةً لذلك فإن جهد الوجه سيقل إلى ($1/\sqrt{3}$) من جهد المصدر وينخفض تيار الخط إلى ($1/3$) التيار المار في حالة التوصيل على شكل دلتا ، وبعد أن يجتاز المحرك فترة البدء يتم إعادة توصيل الملفات على شكل دلتا ، انظر الأشكال (٣٠ -١) و (٣١ -١).

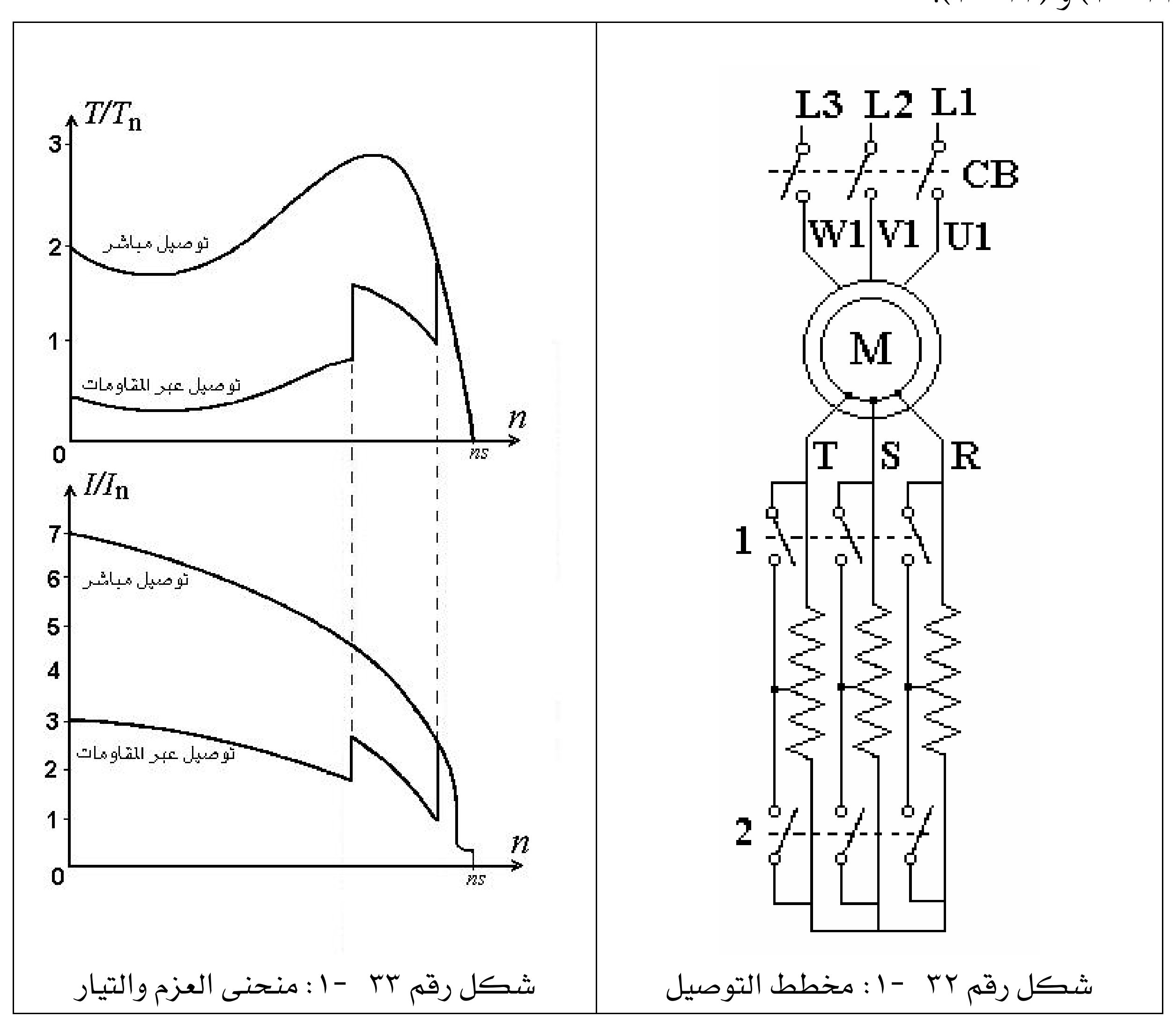


شكل رقم ٣٠ -١ : مخطط التوصيل

شكل رقم ٣١ -١: منحنى العزم والتيار

٤- إضافة مقاومات موصلة على التوالي مع ملفات العضو الدوار:

هـذه الطريقـة خاصـة فقـط بـالمحرك ذي حلقـات الانـزلاق حيـث يمكـن توصيل مقاومـات علـى التـوالي مـع ملفات العضو الدوار وبالتالي فإن تيار البدء يقل نتيجة لزيادة المقام في المعادلة (٣٩ -١) ، وبعد أن يجتاز المحرك فترة البدء يتم إزالة هذه المقاومات تدريجياً وذلك لتجنب زيادة المفاقيد في دائرة العضو الدوار. هـذه الطريقة تعتبر الأفضل للمحركات ذات حلقات الانزلاق ، كما أنها تزيد من عـزم البـدء للمحـرك وذلـك لأن مقاومـة البـدء تضـاف إلى R'_2 وبالتـالي فـإن الانـزلاق الـذي يحـدث عنـده أعلـى عـزم يـزداد وبالتـالي ينتقل موضع العزم الأقصى إلى الأمام مما يعني الزيادة في عزم البـدء للمحـرك ، انظـر الأشـكال (٣٢ -١) و (٣٣ -١).

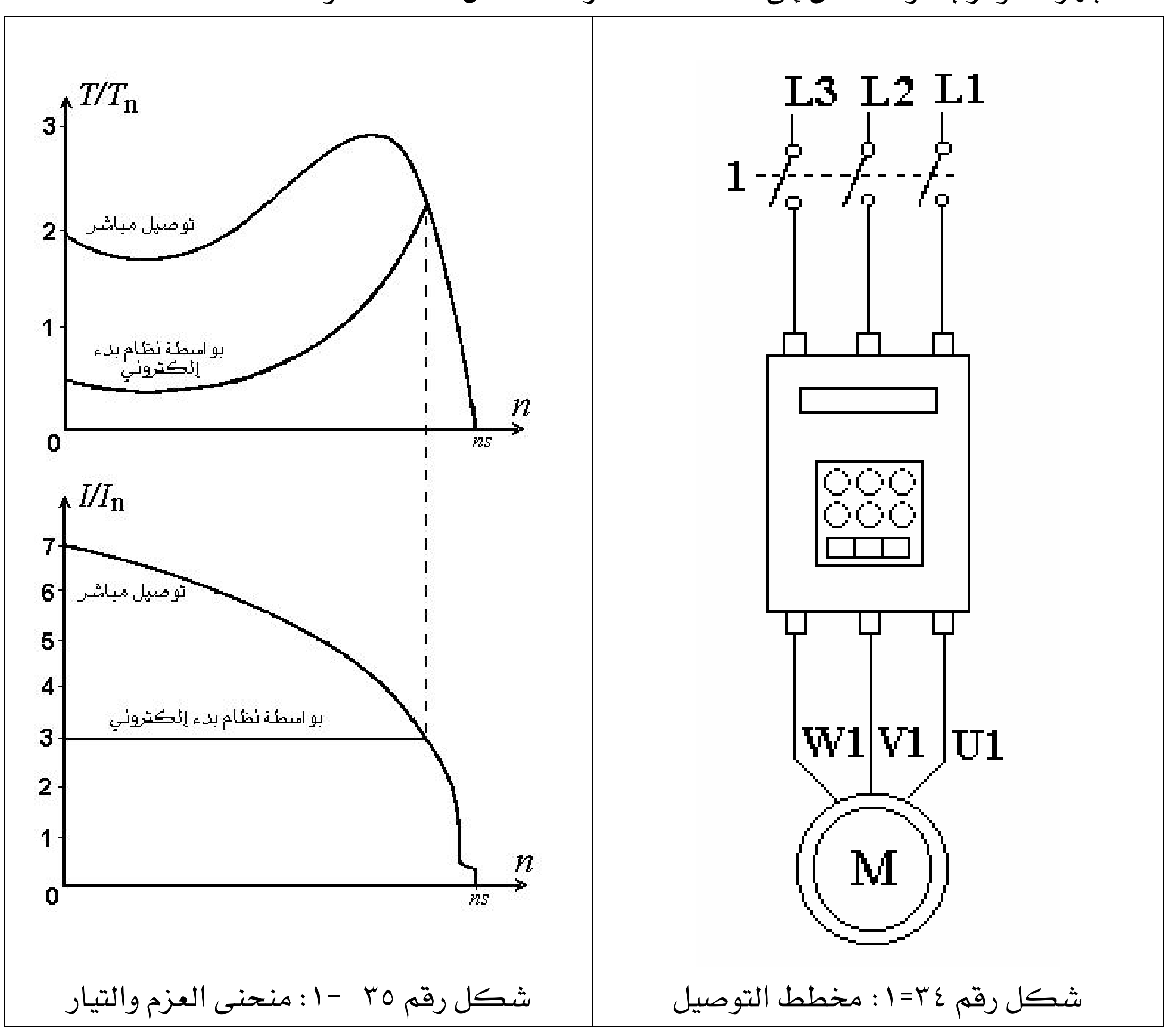


شكل رقم ٣٣ -١: منحنى العزم والتيار

شكل رقم ٣٢ -١: مخطط التوصيل

٥ ـ باستخدام أجهزة بدء إلكترونية:

ظهرت حديثاً أجهزة لبدء المحركات الكهربائية تستخدم تقنية إلكترونيات القدرة ، هذه الأجهزة تعتمد على مبدأ التحكم الدقيق والناعم في الجهد مع مراقبة التيار في نفس الوقت وبالتالي تجعل التيار ثابت طيلة فترة البدء مع عزم مستقر. هذه الطريقة تعتبر الأفضل وذلك لأنها توفر للمحرك تسارع ناعم بدون وقفات أو قفزات مفاجئة أو تذبذب أو إجهاد ميكانيكي كما هو الحال في الطرق التقليدية ، كما أن هذه الأجهزة تتوفر فيها جميع أنواع الحماية التي يتطلبها المحرك عادةً مما يعني توفير ثمن أجهزة الحماية مقابل ارتفاع ثمن الجهاز، كما أنها أيضا تتحكم بعملية إيقاف أو تباطؤ المحرك عند الإيقاف. هذه الأجهزة تتوفر بقدرات تصل إلى ٥٠٠ kw، انظر الأشكال (٣٤ -١) و (٣٥ -١).



شكل رقم ٣٥ -١: منحنى العزم والتيار

شكل رقم ٣٤=١: مخطط التوصيل

التحكم في السرعة

المحرك الحثي ثلاثي الأوجه يعتبر هو المحرك المثالي للتطبيقات التي لا تتطلب تغيراً في السرعة وذلك لأن سرعته ثابتة تقريباً عند قيمة أقل من السرعة التزامنية بقدر بسيط وعندما يتغير الحمل تتغير سرعته بشكل طفيف. ، ولذلك فهو يعتبر محرك ذو سرعة ثابتة تقريباً. ونظراً لوجود بعض التطبيقات التي تتطلب تحكماً في السرعة أمكن التحكم المحدود في سرعته بعدد من الطرق. بالرجوع إلى المعادلة رقم (٧ -١) نجد أن سرعة العضو الدوار يمكن التحكم بها إما بتغيير الانزلاق أو بتغير السرعة التزامنية، والسرعة التزامنية يمكن أن تتغير إما بتغير عدد الأقطاب أو بتغير تردد المصدر وذلك طبقاً للمعادلة رقم (١ -١). وبناءً عليه يمكن التحكم في سرعة المحرك الحثي ثلاثي الأوجه بإحدى ثلاث طرق: تغيير الانزلاق أو تغيير عدد الأقطاب أو تغير تردد المصدر.

١ـ تغير قيمة الانزلاق:

هذه الطريقة تستخدم فقط مع المحركات ذات حلقات الانزلاق وذلك بتوصيل مقاومات على التوالي مع ملفات العضو الدوار ، انظر الشكل رقم (٣٢ -١). إن أي تغيير في مقاومة ملفات العضو الدوار سيؤدي إلى تغيير موضع العزم الأقصى طبقاً للمعادلة رقم (٣٦ -١) وبالتالي تتغير السرعة مع تغير الانزلاق طبقاً للمعادلة رقم (٧ -١).

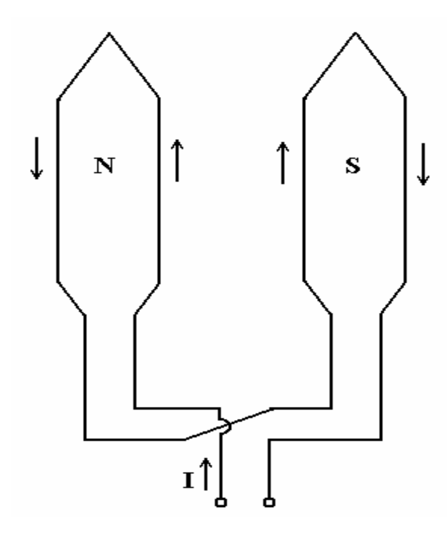
هذه الطريقة تعطي تحكم محدود في السرعة و يحبذ أن لا يزيد عن ١٥٪ من السرعة التزامنية وذلك لأن زيادة هذه المقاومة يؤدي إلى زيادة المفاقيد النحاسية في العضو الدوار وبالتالي قلة كفاءة المحرك.

٢ـ تغيير عدد الأقطاب:

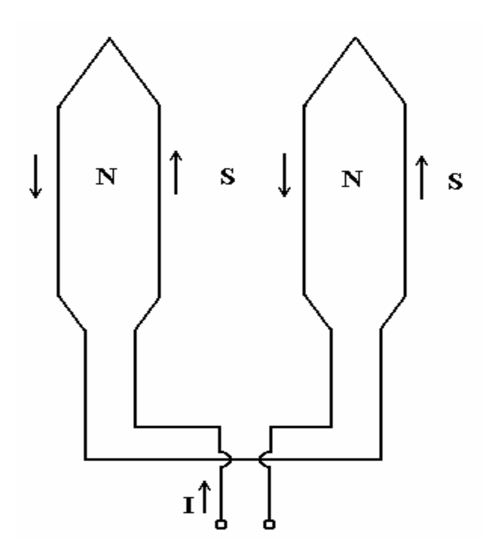
يمكن تغيير عدد أقطاب العضو الثابت في المحرك الحثي ذي القفص السنجابي وذلك بإعادة توصيلها بطريقة مختلفة بحيث نحصل على نصف عدد الأقطاب أو الضعف ، بهذه الطريقة يصبح لدينا سرعتان تزامنيتان الواحدة نصف الأخرى . فإذا كانت الأقطاب الأساسية أربعة كما هو موضح في الشكل رقم (٣٦ -١) يمكن إعادة التوصيل بحيث تصبح ثمانية أقطاب كما هو موضح في الشكل رقم (٣٧ -١).

إذا كانت هذه الطريقة لا تعطي السرعة المطلوبة فإنه بالإمكان وضع طبقتان منفصلتان من الملفات في العضو الثابت كل طبقة ذات عدد من الأقطاب مختلف عن الأخر ، مثلاً يمكن أن تكون الطبقة الأولى ذات ثمانية أقطاب بينما الثانية تكون ذات ستة أقطاب، كما أنه بالإمكان دمج الطريقتين معاً لنحصل على محرك ذو أربع سرعات.

هذه الطريقة غير مناسبة للمحرك ذي العضو الدوار الملفوف لأن ذلك يستدعي إعادة توصيل ملفات العضو الدوار لكي تصبح مساوية لملفات العضو الثابت كلما أردنا تغيير السرعة وهذا غير مناسب. بينما العضو الدوار ذي القفص السنجابي يتلاءم تلقائياً مع أي عدد موجود من الأقطاب في العضو الثابت.



شكل رقم ٣٦ -١: توصيل الملفات على شكل قطبين



شكل رقم ٣٧ -١: توصيل الملفات على شكل أربعة أقطاب

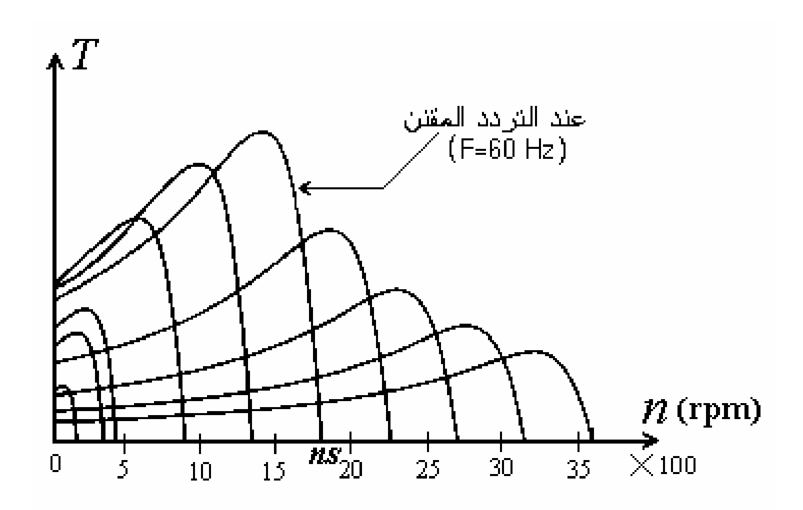
٢ـ تغيير تردد المصدر:

السرعة التزامنية للمحرك الحثي ثلاثي الأوجه يمكن التحكم بها عن طريق التحكم في تردد مصدر الجهد المغذي لملفات العضو الثابت. و هذا يتطلب وجود مصدر جهد ثلاثي الأوجه ذو تردد قابل للتغيير. هذا النوع من المصادر هي عبارة عن أجهزة تحكم إلكترونية ذات قدرات عالية تقوم بتحويل

القدرة الداخلة ذات التردد الثابت إلى تيار مستمر ومن ثم تحويل هذا التيار المستمر إلى تيار متردد ثلاثي الأوجه عند التردد المطلوب.

كما أن الجهد الخارج يضبط بحيث يكون متناسب مع التردد المطلوب وذلك للحفاظ على قيمة ثابتة للفيض المغناطيسي في الثغرة الهوائية. مثل هذه الأجهزة تكون عادةً مكلفة ولا يلجأ إليها إلا في التطبيقات التي تحتاج تحكم دقيق في السرعة.

الشكل رقم (٣٨ -١) يوضح منحنيات (العزم/السرعة) لمحرك ذي أربعة أقطاب عند ترددات مختلفة، ويلاحظ أن العزم يزداد عند انخفاض التردد وذلك بسبب زيادة الجهد والعكس يحدث عند زيادة التردد وذلك للمحافظة على كمية ثابتة للفيض المغناطيسي في الثغرة الهوائية.



شكل رقم ٣٨ -١: منحنيات (العزم/السرعة) لمحرك ذي أربعة أقطاب عند ترددات مختلفة

أسـئلة وتمـاريـن

١- لماذا تيار البدء يكون عالياً في المحركات الحثية؟
٢- لا يحبذ توصيل مقاومات على التوالي مع ملفات العضو الثابت من أجل تقليل تيار البدء، لماذا؟
٣- ما هي مميزات استخدام المحول الذاتي في عملية البدء؟
٤- ما هي مواصفات المحرك الذي يمكنه البدء بطريقة (Y / Δ)؟
٥- لماذا إضافة مقاومة إلى ملفات العضو الدوار يؤدي إلى تقليل تيار البدء؟
٦- ما هي مميزات أجهزة البدء الإلكترونية؟
٧- اشرح كيف يمكن التحكم في سرعة المحرك عن طريق إضافة مقاومة إلى دائرة العضو الدوار
٨- كيف يمكن الحصول على محرك حثي ذي أربع سرعات؟
٩- لماذا يجب تغيير الجهد عند تغيير تردد المصدر من أجل التحكم في سرعة المحرك؟
١٠- فيما يلي اختر الإجابة الصحيحة مع التعليل إما بكتابة معادلة أو رسم منحنى:

أ) إذا زاد تحميل المحرك فإن الانزلاق (يقل / يزداد)
ب) إذا زيدت مقاومة العضو الدوار فإن تيار البدء (يقل / يزداد)
جـ) إذا زيدت مقاومة العضو الدوار فإن سرعة المحرك (تقل / تزداد)
د) إذا قل الانزلاق فإن القدرة المفقودة في العضو الدائر (تقل / تزداد)
هـ) إذا قل تردد المصدر فإن سرعة المجال المغناطيسي الدوار (تقل / تزداد)
و) إذا زاد الانزلاق فإن تردد التيارات داخل ملفات العضو الدوار (يقل / يزداد)
ز) إذا زادت سرعة المحرك فإن قيم التيارات داخل ملفات العضو الدوار (تقل / تزداد)
حـ) إذا زد عدد أقطاب العضو الثابت فإن سرعة المجال المغناطيسي الدوار (تقل / تزداد)

الوحدات التدريبية في هذه الحقيبة

الوحدة الأولى: المحركات الحثية ثلاثية الأوجه
الوحدة الثانية: المولدات التزامنية ثلاثية الأوجه
الوحدة الثالثة: المحركات التزامنية ثلاثية الأوجه
الوحدة الرابعة: التجارب العملية

المملكـة العربيــة الســعودية
المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج



آلات التيــار المتردد

المولدات التزامنية ثلاثية الأوجه

المولدات التزامنية ثلاثية الأوجه

٢

الجدارة: الإلمام الشامل بتركيب وأساسيات تشغيل وأداء المولدات التزامنية ثلاثية الأوجه

الأهداف: عندما يكمل المتدرب هذه الوحدة يكون قد تمكن من تحقيق الأهداف والمهارات التالية:

لإلمام بأنواع وتركيب الآلات التزامنية.

١. الإلمام بنظرية عمل المولدات التزامنية.
٢. الإلمام بكيفية ضبط جهد وتردد المولدات التزامنية.
٣. إجراء الحسابات الفنية المتعلقة بتشغيل المولدات التزامنية ثلاثية الأوجه.
٤. إجراء الاختبارات الروتينية على المولدات التزامنية ثلاثية الأوجه.
٥. تحديد عناصر الدائرة المكافئة للمولدات التزامنية.
٦. حساب القدرة والعزم والكفاءة للمولدات التزامنية.
٧. حساب معامل تنظيم الجهد للمولدات التزامنية.
٨. إجراء عملية ربط للمولد التزامني بالشبكة العامة.
٩. استنتاج وفهم المنحنيات المميزة لهذه المولدات.
١٠. رسم المخطط الاتجاهي وكيفية استخدامه للتحكم في هذه المولدات.

الوقت المتوقع للتدريب: ٨ ساعات

الوسائل المساعدة: التجارب العملية رقم ٨ و رقم ٩ في الوحدة التدريبية الرابعة من هذه الحقيبة

متطلبات الجدارة: يجب أن يكون المتدرب قد أتم دراسة الوحدة التدريبية الأولى في هذه الحقيبة (المحركات الحثية ثلاثية الأوجه)

هـذه الوحـدة مقسـمة إلى فصـلين، كـل فصـل يخـتص بموضـوع أو أكثـر حـول المولـدات التزامنية ثلاثية الأوجه وهي:

الفصل الأول : التركيب ونظرية العمل – الدائرة المكافئة – المنحنيات المميزة

الفصل الثاني: القدرة والعزم – التشغيل المتوازي

وفي نهاية الفصل الثاني أدرج عدد من الأمثلة الحسابية المحلولة حلاً مفصلاً بالإضافة إلى مجموعة من الأسئلة والتمارين التي أدرجت في نهاية كل فصل والتي تم اختيارها بعناية لتكن بمثابة قياس لفهم و استيعاب المتدرب لهذا الفصل.

الفصل الأول

التركيب - نظرية العمل – الدائرة المكافئة – المنحنيات المُمَيِّزة

تمهيد

أن أكثر من ٩٨٪ من الطاقة الكهربائية المنتجة في العالم يتم توليدها باستخدام الآلة التزامنية فهي الأكثر استخداما لغرض تحويل الطاقة الميكانيكية إلى كهربائية، والآلة التزامنية كما أنها تستخدم كمولد تزامني تستخدم أيضاً كمحرك تزامني «كما سيأتي في الوحدة القادمة » وقد اكتسبت هذه التسمية (التزامنية) بسبب التزامن أو التوافق التام بين سرعة دوران المجال المغناطيسي و العضو الدوار ولذلك تسمى بالآلة التزامنية أو التوافقية.

تركيب الآلة التزامنية ثلاثية الأوجه

كأي آلة كهربائية تتركب الآلة التزامنية Synchronous Machine من عضوين : عضو ثابت وعضو دوار أحدهما يحمل ملفات إنتاج الطاقة الكهربائية ويسمى المنتج Armature والأخر يحمل ملفات المجال المغناطيسي ، ويفضل أن تكون ملفات إنتاج الطاقة الكهربائية مركبة على العضو الثابت بينما تكون ملفات المجال المغناطيسي مركبة على العضو الدوار وذلك لعدة أسباب أهمها ما يلي:

١- التيار المسحوب من الآلة كبير لذا يفضل أن يؤخذ مباشرةً وليس عن طريق حلقات انزلاق
٢- التخلص من حلقات الانزلاق أو تقليلها إلى ٢ بدلاً من ٦ حلقات
٣- سهولة تبريد ملفات إنتاج الطاقة الكهربائية عندما تكون ثابتة
٤- حماية ملفات إنتاج الطاقة الكهربائية من قوة الطرد المركزية بسبب وزنها الكبير

لذا فإننا في دراستنا لهذه الآلة سنختار العضو الثابت لحمل ملفات إنتاج الطاقة الكهربائية بينما ملفات المجال المغناطيسي ستكون من نصيب العضو الدوار.

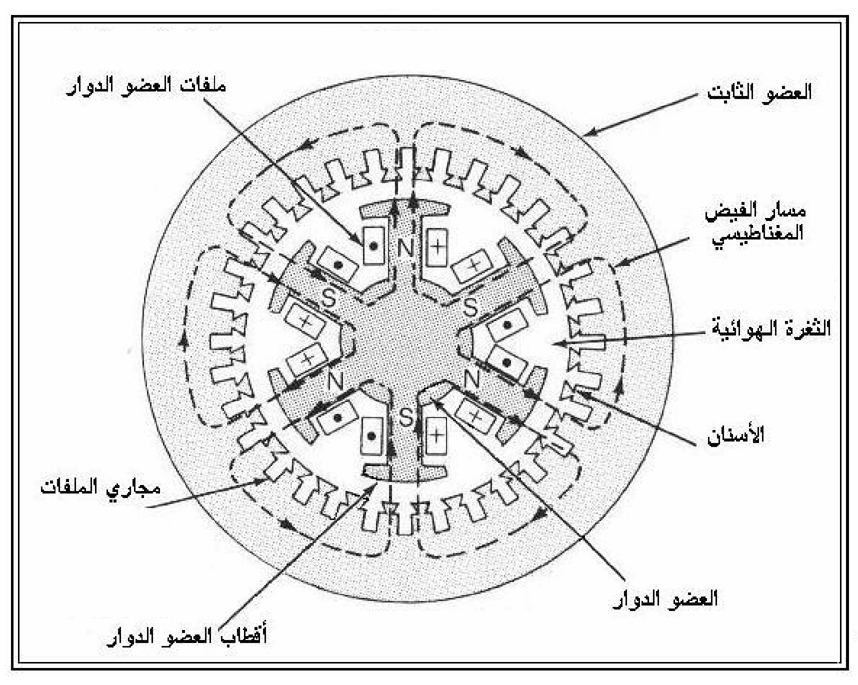
العضو الثابت:

العضو الثابت يكون مشابه تماماً للعضو الثابت في المحرك الحثي ثلاثي الأوجه من حيث التركيب وطريقة اللف بحيث يخرج في النهاية ستة أطراف يمكن توصيلها على شكل نجمة أو دلتا. للتفاصيل يراجع تركيب العضو الثابت للمحرك الحثي ثلاثي الأوجه في الوحدة الأولى.

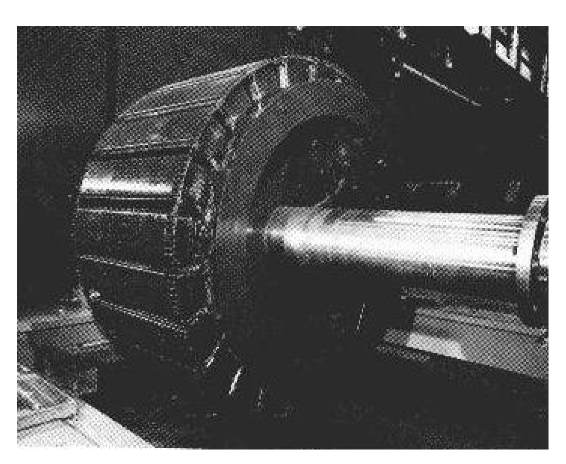
العضو الدوار:

العضو الدوار يحمل ملفات المجال المغناطيسي ويغذى بتيار مستمر عن طريق حلقتي انزلاق وحيث أن التيار المار في ملفات العضو الدوار تيار مستمر لذا لا يلزم تصنيع العضو الدوار على شكل شرائح حديدية بل يصنع من حديد مصمت وذلك لعدم وجود تيارات دوامية في هذه الحالة ،أما طريقة اللف فهي مشابهة لطريقة لف أقطاب العضو الثابت في آلات التيار المستمر بحيث يحمل كل قطب ملف واحد ثم توصل ملفات الأقطاب على التوالي وفي النهاية يخرج طرفان إلى حلقتي الانزلاق لتغذية الملفات بالتيار المستمر. وهناك نوعان من العضو الدوار هما:

١ - عضو دوار ذو أقطاب بارزة Salient Pole Rotor يستخدم مع الآلات التزامنية ذات السرعات المنخفضة مثل الآلات المركبة على مساقط المياه و ذلك لأن سرعتها عادةً تقل عن ١٠٠٠ لفة بالدقيقة انظر شكل رقم (١ -٢) وشكل رقم (٢ -٢).

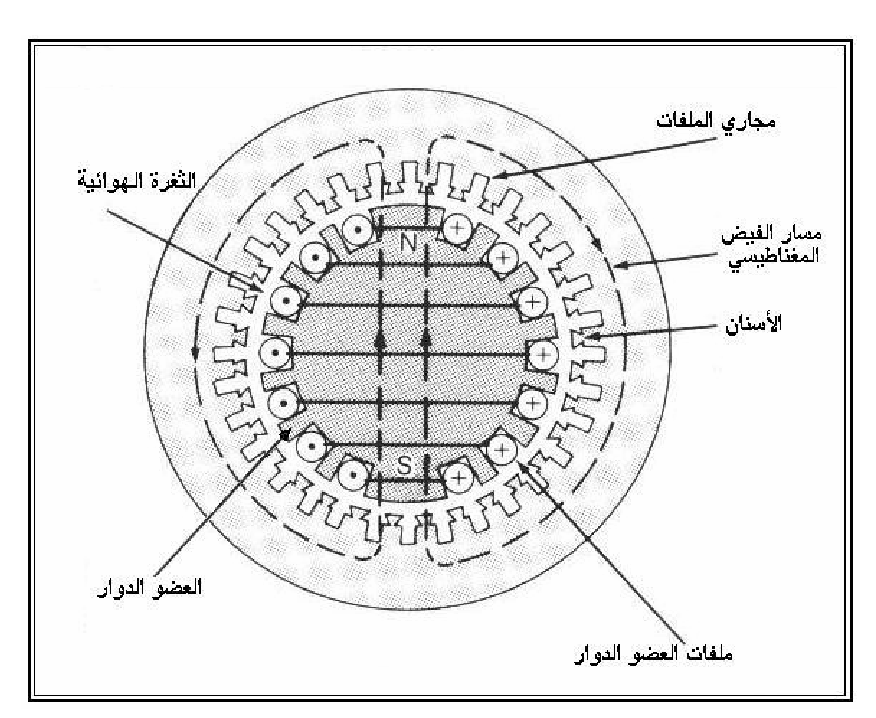


شكل رقم ١ -٢: آلة تزامنية ذات عضو دوار ذو أقطاب بارزة

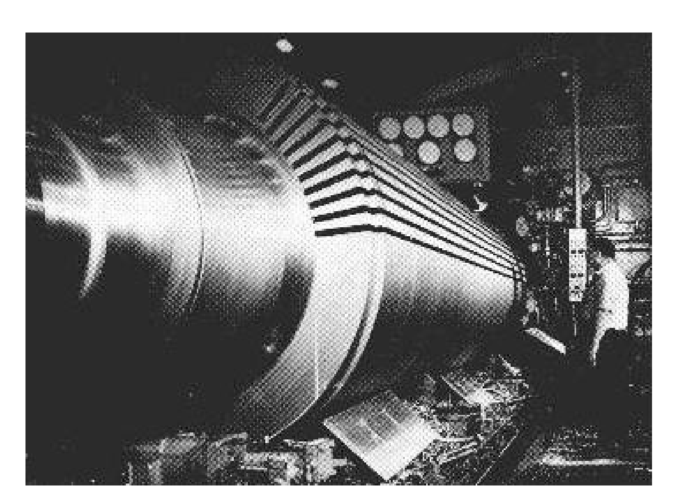


شكل رقم ٢ -٢: عضو دوار ذو أقطاب بارزة

٢ - عضو دوار أسطوا نـي Cylindrical Rotor و يستخدم مع الآلات التزامنية ذات السرعات العالية التي تدار بواسطة توربينات غازية أو بخارية حيث تكون السرعة إما ١٥٠٠، ١٨٠٠ ، ٣٠٠٠ أو ٣٦٠٠ لفة بالدقيقة حسب التردد المطلوب وعدد الأقطاب. ويلاحظ أنه يجب أن يكون عدد أقطاب العضو الدوار مساوياً لعدد الأقطاب في العضو الثابت ، انظر شكل رقم (٣ -٢) وشكل رقم (٤ -٢).



شكل رقم ٣ -٢: آلة تزامنية ذات عضو دوار أسطواني



شكل رقم ٤ -٢: عضو دوار أسطواني

كيفية عمل المولد التزامني

في البدء يدار العضو الدوار للآلة التزامنية بواسطة وسيلة تدوير مناسبة (محرك ديزل – توربينة غازية أو بخارية أو مائية) وعندما تصل سرعة العضو الدوار إلى السرعة التزامنية يتم تغذية ملفات العضو الدوار بالتيار المستمر بواسطة مولد خاص مركب على نفس العمود يسمى المثير Exciter أو عن طريق حلقتي انزلاق إن كان من مولد خارجي ، وبالتالي ينتج في الثغرة الهوائية مجال مغناطيسي دوار يدور بنفس سرعة العضو الدوار (السرعة التزامنية) ولذلك سميت هذه الآلة بالآلة التزامنية.

هذا المجال المغناطيسي الدوار سيقطع ملفات العضو الثابت ويولد فيها قوة دافعة كهربائية متناوبة طبقاً لمبدأ الحث الكهرومغناطيسي. هذه القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في المنتج (العضو الثابت) ستكون قوة دافعة كهربائية ثلاثية الأوجه بين كل وجه وأخر ١٢٠ درجة وذلك لأن العضو الثابت يحمل ثلاثة ملفات بين كل ملف وأخر زاوية فراغية قدرها ١٢٠ درجة ، وتعتمد كمية القوة الدافعة الكهربائية على شدة المجال المغناطيسي وسرعة العضو الدوار ، وحيث أن سرعة العضو الدوار يجب أن تكون ثابتة للحصول على تردد ثابت ، لذا فإن الخيار الوحيد للتحكم بمقدار القوة الدافعة الكهربائية هو التحكم بشدة المجال المغناطيسي وذلك بتغيير قيمة التيار المستمر الداخل إلى ملفات العضو الدوار. تردد القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في المنتج يعتمد على سرعة العضو الدوار وعدد الأقطاب ويحسب من المعادلة التالية:

$$f = \frac{n \cdot P}{120} \qquad (1 - 2)$$

أما القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في ملفات المنتج لكل وجه فتعطى من المعادلة التالية:

$$E_{ph} = \sqrt{2} \cdot \pi \cdot f \cdot \phi \cdot T_{ph} \cdot k_W \qquad (2 - 2)$$

حيث:

f : التردد

ϕ : شدة الفيض المغناطيسي

T_{ph} : عدد اللفات في كل وجه

k_W : معامل اللف (< ١)

الدائرة المكافئة للآلة التزامنية

إن وجود ثغرة هوائية غير منتظمة في الآلة التزامنية ذات الأقطاب البارزة سيضفي بعض التعقيد على الدائرة المكافئة للآلة التزامنية لذا فإننا هنا سنفترض أن الثغرة الهوائية منتظمة أي أننا سنستخدم نموذج الآلة التزامنية ذات العضو الدوار الأسطواني ، كما أن هذا الافتراض يعطي نتائج مقبولة في حالة الآلة التزامنية ذات الأقطاب البارزة عندما تعمل في حالة الاستقرار steady state. إن الجهد المتولد في ملفات المنتج E_{ph} والمعطى بالمعادلة (٢ -٢) يعتبر هو الجهد الداخلي للمولد ولا يظهر على أطراف المنتج إلا في حالة عدم مرور تيار في ملفات المنتج (حالة عدم التحمل) ، أما في حالة تحميل المولد فإنه سيظهر جهد آخر مختلف على أطراف المنتج يسمى الجهد الخارجي V_{ph}.

لماذا الجهد الخارجي لا يساوي الجهد الداخلي في حالة التحميل وما هي العلاقة بينهما ؟

الإجابة على هذا السؤال تقود إلى استنتاج نموذج للدائرة المكافئة للمولد التزامني.

.يوجد عدد من العوامل التي تسبب الاختلاف بين E_{ph} و V_{ph} عند التحميل أهمها ما يلي:

١- تشوه الفيض المغناطيسي في الثغرة الهوائية بسبب مرور تيارات في ملفات المنتج وهو ما يسمى بظاهرة رد فعل المنتج Armature Reaction .

٢- وجود مقاومة لملفات المنتج .

٣- وجود ممانعة حثية ذاتية لملفات المنتج .

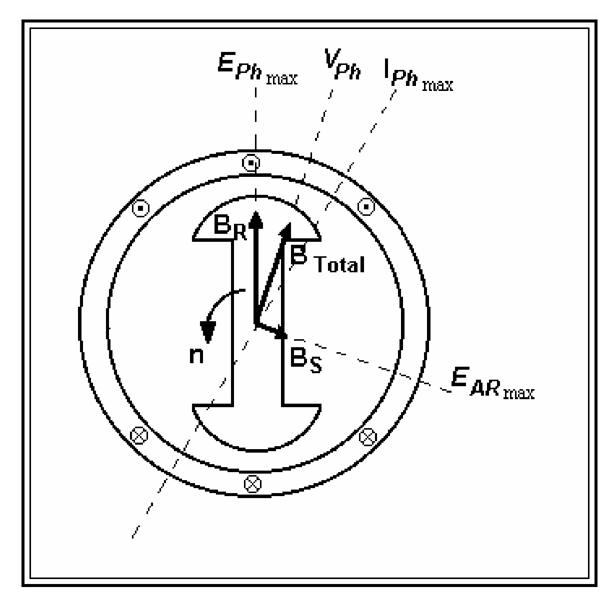
ما هو رد فعل المنتج ؟

عند تحميل الآلة التزامنية سيمر في كل وجه من أوجه العضو الثابت تيار كهربائي، وحيث إن ملفات العضو الثابت رتبت بحيث يفصل بين كل وجه وأخر زاوية فراغية مقدارها ١٢٠ درجة فإن التيارات المارة في هذه الأوجه سيفصل بين كل تيار وأخر زاوية طور مقدارها ١٢٠ درجة، ونتيجة لمرور هذه التيارات مجتمعة بهذه الصفة سيتولد مجال مغناطيسي دوار في العضو الثابت يدور بنفس سرعة واتجاه المجال المغناطيسي الدوار الناتج من ملفات العضو الدوار، هذا المجال المغناطيسي الجديد هو رد فعل المنتج كنتيجة لمرور تيارات كهربائية في ملفاته أثناء التحميل.

إذن: المجال المغناطيسي المؤثر في الثغرة الهوائية هو محصلة المجالين المتولدين من العضو الدوار و العضو الثابت ، وكما أن المجال المغناطيسي المتولد من العضو الدوار سينتج جهداً في ملفات العضو الثابت هو E_{ph} ، كذلك المجال المغناطيسي الناتج بسبب رد فعل المنتج سينتج جهداً في ملفات العضو الثابت هو E_{AR} ، ولذا فإن الجهد الذي سيظهر على أطراف المولد V_{ph} هو محصلة هذين الجهدين أو لنقل هو الجهد المتولد بسبب محصلة الفيض المغناطيسي في الثغرة الهوائية B_{Total}، انظر الشكل (٥ -٢).

$$B_{Total} = B_R + B_S \qquad (3 - 2)$$

$$V_{ph} = E_{ph} + E_{AR} \qquad (4 - 2)$$



شكل رقم ٥ -٢: المجالات المغناطيسية المؤثرة في المولد التزامني أثناء التحميل

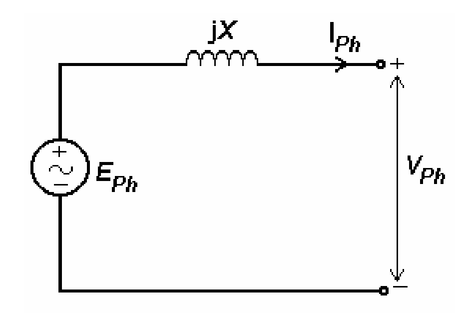
في الشكل (٥ -٢) نجد أن التيار I_{Ph} نتج بسبب تحميل الآلة بحمل حثي وذلك لأنه متخلف عن الجهد E_{Ph} بزاوية ما ، هذا التيار بدوره أوجد المجال المغناطيسي B_S الذي بدوره أنتج جهداً في ملفات المنتج هو E_{AR}، هذا الجهد E_{AR} الناتج بسبب رد فعل المنتج يتناسب طردياً مع التيار المسبب له كما أنه متخلف عنه بزاوية قدرها ٩٠ درجة ، وبناءً عليه نستطيع أن نعبر عن هذا الجهد المتولد بسبب رد فعل المنتج بما يلي:

$$E_{AR} = -jXI_{Ph} \qquad (5 - 2)$$

وبعد التعويض في المعادلة (٤ -٢) نجد أن :

$$V_{Ph} = E_{Ph} - jXI_{Ph} \qquad (6 - 2)$$

المعادلة (٦ -٢) يمكن أن نمثلها بالدائرة التالية:



شكل رقم ٦ -٢: دائرة تمثيل المعادلة (٦ -٢)

إذن : الجهد المتولد بسبب رد فعل المنتج يمكن التعبير عنه بمحاثة موصلة على التوالي مع مصدر الجهد الداخلي.

بالإضافة إلى تأثير رد فعل المنتج أيضا هناك تأثير للمقاومة و المفاعلة الحثية الذاتية لملفات المنتج. فإذا اعتبرنا أن مقاومة ملفات المنتج هي R_A والمفاعلة الحثية الذاتية لملفات المنتج هي X_A ، فإن جهد أطراف المولد يصبح كما يلي:

$$V_{Ph} = E_{Ph} - jXI_{Ph} - jX_A I_{Ph} - R_A I_{Ph} \qquad (7 - 2)$$

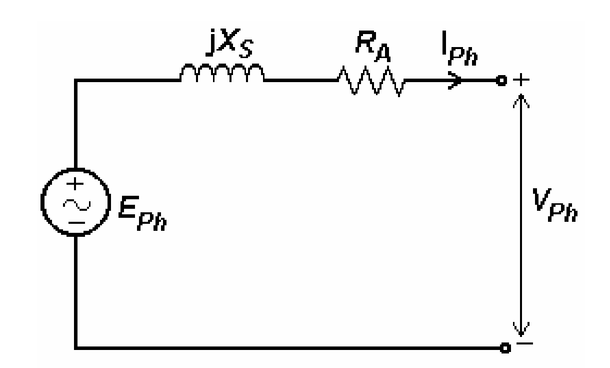
من أجل تبسيط المعادلة (٧ -٢) يمكننا دمج المفاعلة الحثية الذاتية لملفات المنتج (X_A) مع المفاعلة الحثية التي تمثل رد فعل المنتج (X) لتصبح مفاعلة حثية واحدة تسمى المفاعلة التزامنية (X_S).

$$X_S = X + X_A \qquad (8-2)$$

وبالتالي يصبح جهد أطراف المولد كما يلي:

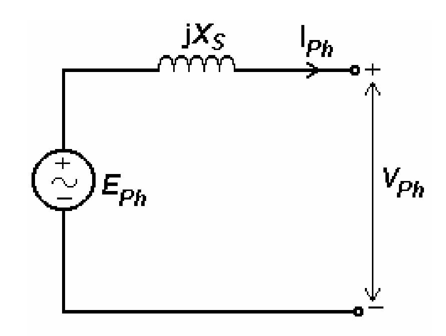
$$V_{Ph} = E_{Ph} - jX_S I_{Ph} - R_A I_{Ph} \qquad (9-2)$$

المعادلة (٩ -٢) هي المعادلة النهائية التي يحسب منها جهد أطراف المولد لكل وجه ، من هذه المعادلة يمكننا أن نرسم الدائرة المكافئة للآلة التزامنية كما هو موضح في الشكل (٧ -٢) مع ملاحظة أنها تمثل وجه واحد فقط من أوجه المنتج وذلك للتشابه التام بين الأوجه الثلاثة.



شكل رقم ٧ -٢: الدائرة المكافئة للآلة التزامنية

الشكل (٧ -٢) يمثل الدائرة المكافئة النهائية للآلة التزامنية ذات العضو الدوار الأسطواني ، كما أنه يمكن تبسيط هذه الدائرة وذلك بإهمال مقاومة ملفات المنتج نظراً لقلتها مقارنةً بالمفاعلة التزامنية خصوصاً في الآلات الكبيرة فتصبح الدائرة المكافئة التقريبية كما هو موضح في الشكل(٨ -٢).



شكل رقم ٨ -٢: الدائرة المكافئة التقريبية

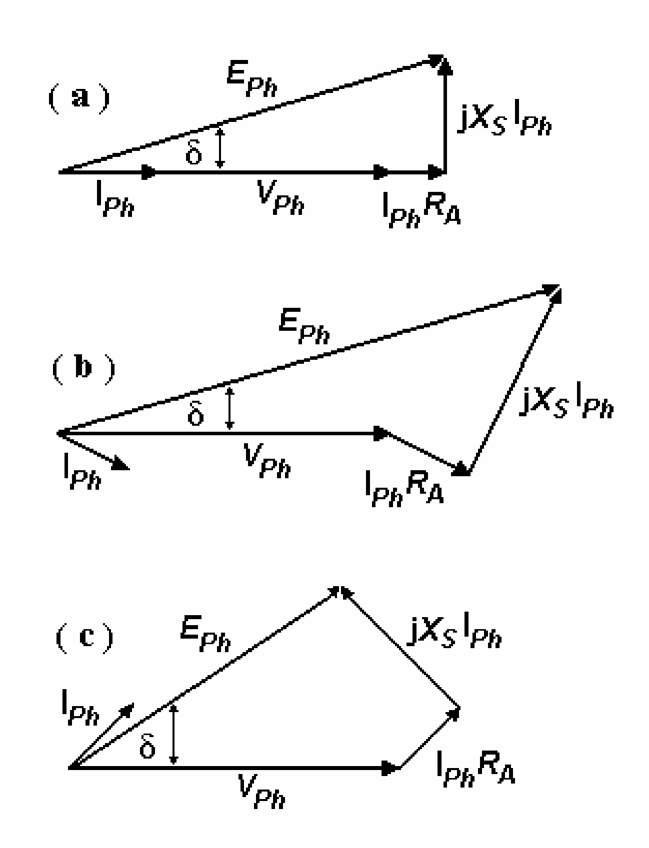
وفي هذه الحالة يحسب جهد الأطراف لكل وجه كما يلي:

$$V_{Ph} = E_{Ph} - jX_S I_{Ph} \qquad (10\text{-}2)$$

المخطط الاتجاهي للآلة التزامنية

بما أن الجهود والتيارات المتولدة في الآلة التزامنية هي كميات اتجاهية (ذات مقدار وزاوية) لذلك يستحسن رسم هذه الكميات مع بعضها بشكل إتجاهي لنحصل على ما يسمى بالمخطط الاتجاهي Phasor Diagram للآلة التزامنية. هذا المخطط الاتجاهي يعتبر أداةً هامةً جداً بالنسبة للآلة التزامنية لأن بواسطته يسهل فهم ودراسة وتحليل أداء الآلة التزامنية ، فمثلاً الشكل رقم (٩ -٢) يوضح المخطط الاتجاهي المصاحب للمعادلة رقم (٩ -٢) في ثلاث حالات تحميل للآلة التزامنية (حمل مادي - حمل حثي - حمل سعوي) ، ويلاحظ أن جهد الأطراف يعتبر هو مرجع جميع القيم في المخطط الاتجاهي وهو أيضا محصلة جميع الجهود داخل الآلة وهذا مطابق تماماً للدائرة المكافئة في الشكل رقم (٧ -٢).

حاول القيام برسم المخطط الاتجاهي المصاحب للدائرة المكافئة في الشكل رقم (٨ -٢) في حالات التحميل الثلاث.



شكل رقم ٩ -٢: المخطط الاتجاهي للآلة التزامنية عندما يكون معامل القدرة واحد (a) ، عندما يكون معامل القدرة متخلف (b) ، عندما يكون معامل القدرة متقدم (c)

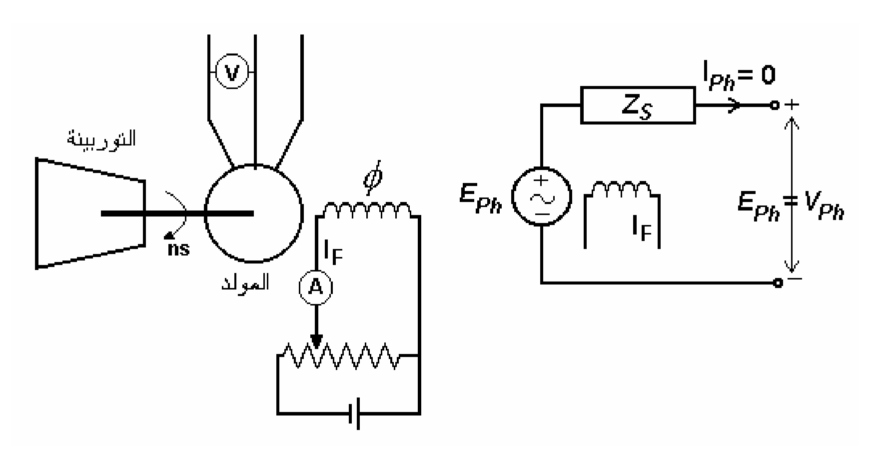
اختبارات الآلة التزامنية

الآلة التزامنية كغيرها من الآلات يجرى عليها الاختباريين الشهيرين (اختبار عدم الحمل واختبار القصر) وذلك لتحديد المنحنيات المُمَيِّزة للآلة وحساب عناصر الدائرة المكافئة.

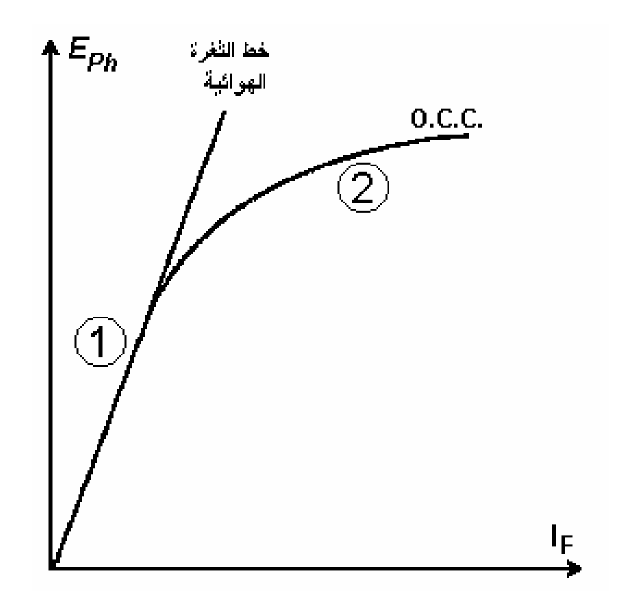
أولاً: اختبار عدم الحمل (الدائرة المفتوحة Open Circuit)

في هذا الاختبار تترك أطراف المنتج مفتوحة وتدار الآلة حتى تصل إلى سرعتها التزامنية ومن ثم يزاد تيار المجال تدريجياً ابتداءً من الصفر، هذه الزيادة في تيار المجال تؤدي إلى زيادة الفيض المغناطيسي بالتالي زيادة الجهد المتولد على أطراف المنتج المفتوحة وتسجل قيم التيار والجهد في جدول ثم ترسم العلاقة بينهما كما هو موضح في الشكل رقم (١١ -٢) ، هذه العلاقة تسمى

منحنـى المغنطـة Magnetization Curve أو منحنـى الـدائرة المفتوحـة المُمَيِّـز Open Circuit Characteristic (O.C.C) راجع الأشكال (١٠ -٢، ١١ -٢)



شكل رقم ١٠ -٢: الآلة التزامنية أثناء اختبار عدم الحمل

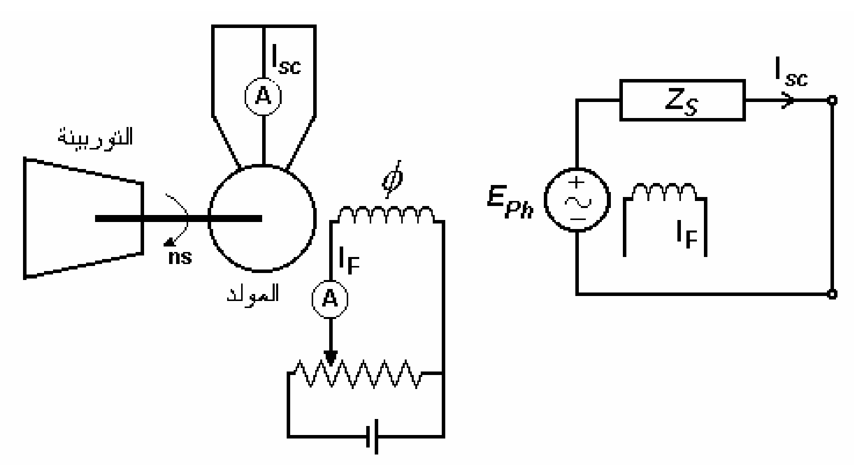


شكل رقم ١١ -٢: منحنى الدائرة المفتوحة للآلة التزامنية

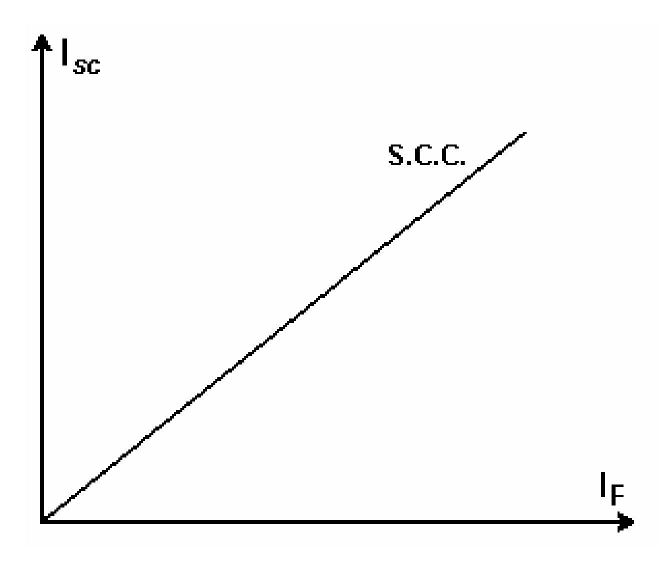
يلاحظ من المنحنى السابق أنه ينقسم إلى منطقتين واضحتين في المنطقة رقم (١) الفيض المغناطيسي منخفض ولذا فإن ممانعة الحديد تكون صغيرة جداً وهذا يعني أن الممانعة الموجودة هي ممانعة الهواء فقط وهذا يؤدي إلى أن الجهد يتغير تغيراً خطياً مع تيار المجال في هذه المنطقة ، امتداد المنحنى في هذه المنطقة هو الخط الفاصل بين المنطقتين و يسمى خط الثغرة الهوائية ، في المنطقة رقم (٢) يزداد الفيض المغناطيسي مما يؤدي إلى زيادة ممانعة الحديد . أي أن الحديد بدأ يصل إلى حالة التشبع . مما يؤدي إلى تناقص معدل الارتفاع في جهد أطراف المنتج مقابل تيار المجال كما هو ملاحظ من المنحنى.

ثانياً: اختبار القصر Short Circuit Test:

في هذا الاختبار تقصر أطراف المنتج الثلاثة مع بعضها وتدار الآلة حتى تصل إلى السرعة التزامنية ثم يزاد تيار المجال تدريجياً وتسجل قيمة تيار المنتج وقيمة تيار المجال المقابلة في جدول ثم ترسم العلاقة بينهما كما هو موضح في الشكل رقم (١٣ -٢) ، هذه العلاقة تسمى منحنى القصر المُمَيِّز Short Circuit Characteristic (S.C.C) ويجب أن لا يترك تيار القصر يزداد عن القيمة المقننة لتيار الحمل الكامل ، راجع الأشكال (١٢ -٢، ١٣ -٢).



شكل رقم ١٢ -٢: الآلة التزامنية أثناء اختبار الدائرة المقصورة



شكل رقم ١٣ -٢: منحنى الدائرة المقصورة للآلة التزامنية

حساب المفاعلة التزامنية باستخدام منحنيي الدائرة المفتوحة (O.C.C) والقصر (S.C.C).

يمكن حساب المفاعلة التزامنية (X_S) للآلة التزامنية باستخدام منحنى الدائرة المفتوحة (O.C.C) ومنحنى الدائرة المقصورة (S.C.C) كما يلي:

١- عند كل قيمة من قيم تيار المجال (I_F) تحسب (Z_S) من المعادلة التالية:

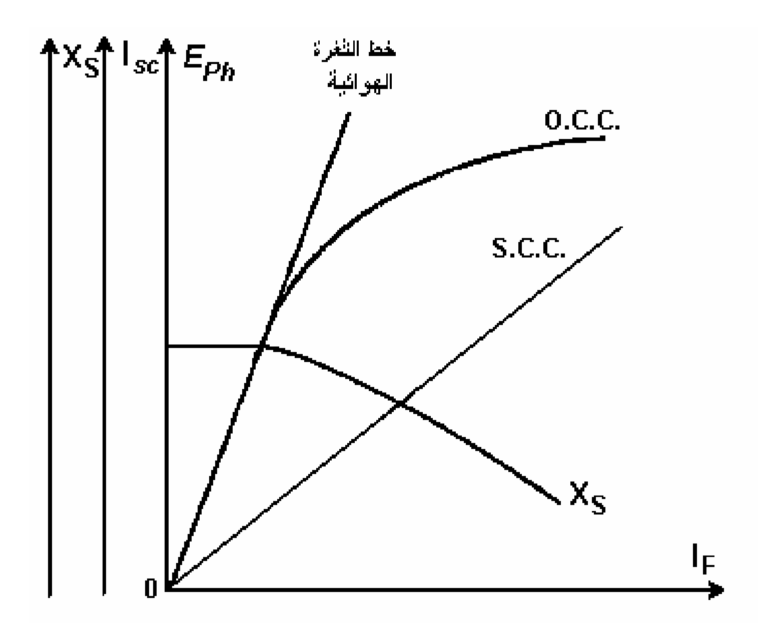
$$Z_S = \frac{E_{Ph}}{I_{SC}} \qquad I_F \text{ is constant}$$

٢- تحسب (X_S) من المعادلة التالية:

$$X_S = \sqrt{Z_S^2 - R_A^2} \qquad (11-2)$$

حيث R_A هي مقاومة ملفات المنتج ويمكن قياسها مباشرة باستخدام الأوميتر.

يمكن أيضاً أن ترسم العلاقة بين I_F ، X_S كما هو موضح في الشكل رقم (١٤ -٢) ، ويلاحظ أن قيمة X_S تكون ثابتة في منطقة التغير الخطي لمنحنى الدائرة المفتوحة(O.C.C) وتقل كلما زادت الممانعة المغناطيسية للحديد.



شكل رقم ١٤ -٢: المفاعلة التزامنية للآلة التزامنية بدلالة تيار المجال

معامل تنظيم الجهد

يعتبر معامل تنظيم الجهد Voltage Regulation من المعاملات الهامة في الآلة التزامنية وذلك لأنه يعطي فكرة واضحة عن مدى التغير الذي يحدث في قيمة الجهد على أطراف الآلة عند تحميل الآلة أو عندما تتغير الأحمال بشكل كبير ، كما أنه يعتبر مؤشر جيد للدلالة على المولد الأفضل عند المقارنة بين المولدات. ويعرف بأنه التغير في جهد الأطراف من حالة عدم الحمل إلى حالة الحمل الكامل منسوباً إلى قيمة الجهد في حالة الحمل الكامل.

ويعبر عنه رياضياً كما يلي:

$$VR = \frac{E_{Ph} - V_{Ph}}{V_{Ph}} \times 100 \qquad (12 - 2)$$

وهناك عدة طرق تستخدم لتعيين معامل تنظيم الجهد تعتمد على نوعيه البيانات المتوفرة عن الآلة والتي تكون عادةً إما نتائج اختبارات أجريت على الآلة أو بيانات التصميم.

أسئلة وتمارين

١- من أين اكتسبت الآلة التزامنية تسميتها؟

٢- كيف يمكن التحكم بمقدار القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في ملفات المنتج؟

٣- هل من المناسب زيادة القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في ملفات المنتج عن طريق زيادة سرعة الدوران؟

٤- كيف يمكن التحكم في تردد الآلة التزامنية؟

٥- ما لمقصود برد فعل المنتج؟

٦- ما هي المفاعلة التزامنية؟

٧- ارسم الدائرة المكافئة التقريبية للآلة التزامنية ، واذكر الأساس الذي تم عليه التقريب؟

٨- ارسم المخطط الاتجاهي للآلة التزامنية المصاحب للدائرة المكافئة التقريبية في حالة كون معامل القدرة مساو للواحد ومتخلف ومتقدم

٩- ما لمقصود بالتشبع المغناطيسي في الحديد؟

١٠- إلى أي مدى يمكن زيادة تيار المجال في اختباري عدم الحمل و الدائرة المقصورة؟

١١- ما هو معامل تنظيم الجهد؟

١٢- ما هي أهمية معرفة معامل تنظيم الجهد للمولد؟

١٣- أيهما أفضل للمولد أن يكون معامل تنظيم الجهد له كبير أم صغير؟

الفصل الثاني

القدرة والعزم – التشغيل المتوازي

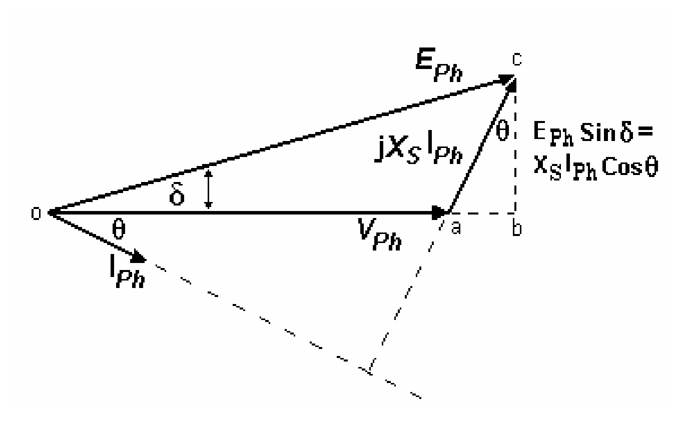
القدرة والعزم في الآلة التزامنية

القدرة الفعالة الخارجة من المولد التزامني تعطى من المعادلة التالية:

$$P = 3V_{Ph} I_{Ph} Cos\,\theta \qquad (13\text{ - }2)$$

حيث: θ هي الزاوية بين الجهد والتيار وجيب تمامها هو معامل القدرة

إذا أهملنا مقاومة ملفات المنتج R_A وذلك لصغر قيمتها عندما تقارن بالمفاعلة التزامنية X_S كما في الشكل (٨ -٢) فإننا نستطيع إيجاد معادلة مهمة جداً لحساب القدرة الخارجة من الآلة التزامنية. لكي نوجد هذه المعادلة نستعين بالمخطط الاتجاهي المعبر عن هذه الحالة والموضح في الشكل (١٥ -٢)



شكل رقم ١٥ -٢: المخطط الاتجاهي للمولد التزامني في حالة إهمال R_A

نلاحظ في المخطط الاتجاهي أعلاه أن المستقيم bc يمكن أن يعبر عنه بـ ($E_{Ph}Sin\delta$) أو بـ($X_S I_{Ph} Cos\theta$) وذلك لكونه ضلع مشترك في المثلثين abc ، obc وبالتالي فإن:

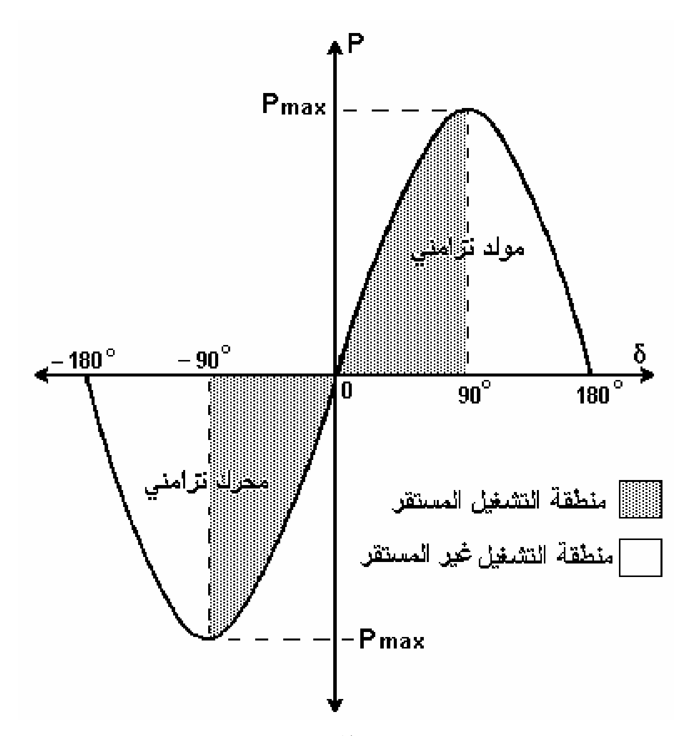
$$I_{Ph}\, Cos\ \theta = \frac{E_{Ph}\, Sin\ \delta}{X_S}$$

وبعد التعويض في المعادلة (١٣ -٢) تصبح معادلة القدرة كما يلي:

$$P = \frac{3V_{Ph} E_{Ph} Sin\, \delta}{X_S} \qquad (14 - 2)$$

معادلة القدرة (١٤ -٢) يمكن أن نرسم منها العلاقة بين P و δ كما هو موضح في الشكل (١٦ -٢) ، العلاقة (١٤ -٢) توضح أن القدرة الخارجة من المولد التزامني تعتمد على الزاوية δ بين E_{Ph} و V_{Ph} ، هذه الزاوية δ تسمى زاوية الحمل Load angle أو زاوية العزم Torque angle ، كما يلاحظ أيضا أن أكبر قدره ممكن أن تؤخذ من المولد نظرياً هي عندما تكون قيمة الزاوية δ تسعون درجة ، أي أن (Sinδ=١) وبالتالي:

$$P_{max} = \frac{3V_{Ph} E_{Ph}}{X_S} \qquad (15 - 2)$$



شكل رقم ١٦ -٢: القدرة في الآلة التزامنية بدلالة زاوية الحمل δ

منطقة التشغيل الامن أو المستقر للآلة التزامنية هي عندما تكون (δ < ٩٠) في حالة التشغيل كمولد أو عندما تكون (δ < ٩٠□) في حالة التشغيل كمحرك كما هو موضح في الشكل (١٦ -٢).

العزم المتولد داخل الآلة التزامنية يمكن إيجاده من المعادلة(١٤ -٢) بعد قسمتها على السرعة الزاوية للعضو الدوار كما يلي:

$$T = \frac{3V_{Ph}E_{Ph}Sin\,\delta}{\omega_m X_S} \qquad (16 - 2)$$

تشغيل المولدات التزامنية على التوازي

من النادر جداً أن يوجد مولد وحيد يغذي حمل مستقل ماعدا في حالات خاصة كالمولدات المعدة لأعمال الطوارئ. عادةً يوجد في كثير من التطبيقات أكثر من مولد مربوطة على التوازي مع بعضها لإمداد الأحمال بالقدرة المطلوبة، وأقرب مثال على ذلك نجده في أي منطقة من مناطق المملكة حيث يوجد العشرات من المولدات التزامنية في أماكن مختلفة مربوطة مع بعضها على التوازي لتغذية تلك المنطقة بما تحتاجه من القدرة الكهربائية.

إذن : لماذا يفضل ربط المولدات التزامنية مع بعضها على التوازي؟

هناك مميزات عديدة لتشغيل المولدات على التوازي أهمها ما يلي:

١- المولدات المربوطة على التوازي تستطيع أن تغذي أحمال أكبر من الحمل الذي يغذيه مولد واحد.

٢- وجود عدة مولدات مربوطة على التوازي يزيد موثوقية النظام ، لأنه في حالة تعطل أي مولد فإن المولدات الأخرى تتقاسم حصة ذلك المولد.

٣- وجود عدة مولدات مربوطة على التوازي يسمح بإجراء أعمال الصيانة لمولد أو أكثر دون قطع القدرة عن الأحمال.

٤- وجود عدة مولدات صغيرة مربوطة على التوازي أكبر كفاءة من مولد وحيد مكافئ لها خصوصاً عندما تكون الأحمال صغيرة.

ومن أجل ربط المولدات على التوازي يجب أن يتحقق عدد من الشروط هي كما يلي:

١- القيمة الفعالة (rms value) لجهد الأطراف في كلا المولدين يجب أن تتساوى.

٢- التردد يجب أن يكون متساوي في كلا المولدين

٣- تتابع الأطوار لكلا المولدين يجب أن يكون هو نفسه إما ABC أو ACB

٤- يجب أن تكون الجهود في نفس الطور (زاوية الطور للوجه a متساوية في كلا المولدين)

وعند تحقق هذه الشروط يمكن توصيل المولدين على التوازي بأمان ، أما عند توصيل المولدين عند عدم تحقق واحد أو أكثر من هذه الشروط فإن ذلك يؤدي إلى حدوث أضرار كبيرة قد تؤدي إلى تلف ملفات المولد بسبب مرور تيار كبير فيها أو يؤدي إلى كسر العمود .بسبب تحوله إلى محرك يدور باتجاه معاكس لدوران التوربينة.

توصيل المولدات التزامنية إلى قضبان لا نهائية

إن عملية توصيل المولد التزامني إلى قضبان لا نهائية Infinite bus bars تعتبر عملية مشابهة لتوصيل المولد التزامني على التوازي مع مولد آخر كبير جداً وذلك لأن القضبان اللانهائي يعتبر كأنه مولد ذو قدره غير محدودة ، ولإتمام هذه العملية يجب أن تتحقق الشروط السابقة قبل عملية التوصيل، وللتأكد من تحقق تلك الشروط تجرى عملية التزامن. وعملية التزامن هذه تجرى بعدة طرق نذكر منها طريقتين:

١ - طريقة المصابيح المضيئة

في هذه الطريقة توصل ثلاث لمبات بين الآلة والقضبان اللانهائية كما هو موضح في الشكل رقم (١٧ - ٢) بحيث توصل الأولى بين الخطين a ،’a والثانية بين الخطين b ،’c والثالثة بين الخطين c ،’b كما يوصل ثلاثة أجهزة فولتميتر: Vs بين الوجهين a ،’a و Vm لقياس جهد المولد و Vb لقياس جهد القضبان اللانهائي ، كذلك يتم توصيل جهازين لقياس تردد المولد والقضبان اللانهائي كما هو موضح في الشكل (١٧ -٢) ، وبهذه الطريقة يمكن التأكد من تحقق شروط التزامن الأربعة كما يلي:

١- لكي يتحقق الشرط الأول يجب أن تتساوى قراءة أجهزة قياس الجهد ($Vm = Vb$)
٢- لكي يتحقق الشرط الثاني يجب أن تتساوى قراءة أجهزة قياس التردد ($Fm = Fb$)
٣- الشرط الثالث يتحقق عندما يكون انطفاء واشتعال المصابيح بشكل منتظم

٤- الشرط الرابع يتحقق عندما يكون فرق الجهد بين وجهين متماثلين في الآلة والقضيب مساوي للصفر ($Vs = ٠$) .

شكل رقم ١٧ -٢: عملية التزامن بطريقة المصابيح المضيئة

أما عملية التزامن فيتم إجراؤها كما يلي:

١- يرفع جهد أطراف المولد حتى يكون مساوياً لجهد القضيب ($Vm = Vb$) وذلك بزيادة تيار المجال تدريجياً

٢- يضبط تردد المولد بحيث يكون قريب من تردد القضيب وذلك بزيادة سرعة الدوران

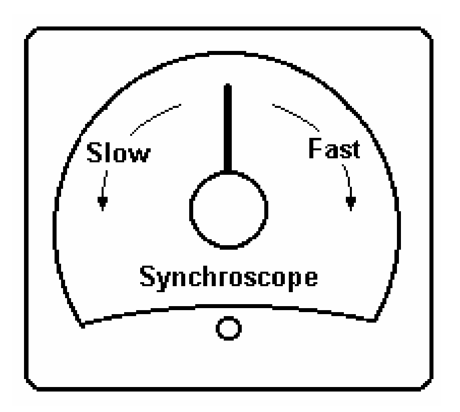
٣- عند محاولة ضبط سرعة الدوران يحدث إحدى حالتين بالنسبة للمصابيح ، الحالة الأولى: جميع المصابيح تضيء وتنطفئ بشكل عشوائي و هذا يعني أن شرط تتابع الأطوار للمولد و القضبان مختلف وعندها يجب المبادلة بين أي طرفين من أطراف المولد من أجل عكس تتابع أطوار المولد وبعدها نلاحظ أن إضاءة المصابيح أصبحت بشكل منتظم ومتتابع. الحالة الثانية : جميع المصابيح تضأ وتنطفأ بشكل منتظم ومتتابع و هذا يعني أن تتابع الأطوار للمولد والقضيب اللانهائي متماثل.

٤- إذا تحققت الحالة الثانية يتبقى ضبط التردد وذلك عن طريق التحكم بالسرعة التزامنية للآلة، ويتضح ذلك في سرعة تتابع الإضاءة فإذا زادت سرعة تتابع إضاءة المصابيح يلزم زيادة أو تقليل سرعة المولد بحيث يكون تتابع إضاءة المصابيح بطيء قدر الإمكان وفي اللحظة التي يكون فيها ($Vs = ٠$) أو المصباح الأول منطفئ بينما الثني والثالث مضاءان يكون الشرط الرابع قد تحقق ،

في هذه اللحظة تكون الآلة في لحظة تزامن مع القضيب اللانهائي وعندها يمكن إغلاق القاطع الرئيسي بأمان.

٢ - باستخدام جهاز التزامن

جهاز التزامن (Synchroscope) يستخدم للتأكد من أن جهد المولد في نفس الطور مع جهد القضبان اللانهائية وأن لهما نفس التردد، أي أنه يعتبر بديل للمصابيح في الشكل (١٧ -٢) ، و هو عبارة عن محرك حثي يتعرض لمجالين مغناطيسيين الأول من القضبان اللانهائية والأخر من المولد التزامني و العضو الدوار مركب عليه مؤشر يتحرك باتجاه عقارب الساعة وعكس عقارب الساعة يعتمد على تردد المولد التزامني هل هو أعلى أو أقل من تردد القضبان اللانهائية، و عندما يقف المؤشر بشكل عمودي (في مكان الساعة ١٢) فهذا يعني أن جهد المولد في نفس الطور مع جهد القضبان اللانهائي عند هذه الحالة يمكن توصيل المولد التزامني بالقضبان اللانهائية بأمان عن طريق القاطع الرئيسي.



شكل رقم ١٨ -٢: جهاز التزامن

أمثلة محلولة :

مثال (١ -٢):

مولد تزامني ذو أربعة أقطاب ملفاته موصلة على شكل دلتا ، جهد الأطراف له V ٤٨٠ والتردد Hz ٦٠ ، منحنى الدائرة المفتوحة له موضح في الشكل(١٩ -٢) ، المفاعلة التزامنية له Ω ٠,١ ومقاومة ملفات المنتج Ω ٠,٠١٥ ، عند الحمل الكامل يعطي تياراً قدره A ١٢٠٠ عند معامل قدره ٠,٨ متخلف ، فإذا كانت مفاقيد الاحتكاك kw ٤٠ و المفاقيد الحديدية kw ٣٠ عند الحمل الكامل فاحسب ما يلي:

أ) ما هي سرعة العضو الدوار

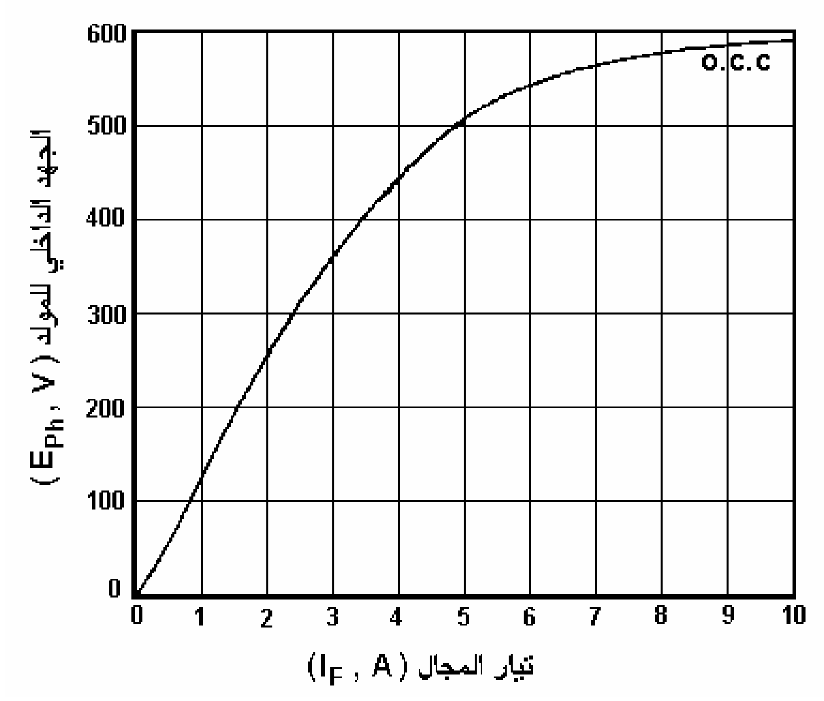
ب) كم يجب أن يكون تيار المجال لكي يكون جهد الأطراف V ٤٨٠ بدون حمل

جـ) إذا كان المولد يغذي حملاً بتيار قدره A ١٢٠٠ عند معامل قدره ٠,٨ متخلف ، كم يجب أن يكون تيار المجال لكي يحافظ على جهد الأطراف عند V ٤٨٠

د) احسب كفاءة المولد

هـ) إذا فصل الحمل عن المولد فجأة ، ماذا سيحدث لجهد الأطراف؟

و) افترض أن المولد يغذي حملاً بتيار قدره A ١٢٠٠ عند معامل قدره ٠,٨ متقدم ، كم يجب أن يكون تيار المجال لكي يبقى جهد الأطراف عند V ٤٨٠



شكل رقم ١٩ -٢ : منحنى الدائرة المفتوحة للمولد(مثال ١ -٢)

الحــل:

بما أن ملفات المولد موصلة على شكل دلتا

إذن : $V_{Ph} = V_{Line} \qquad \& \qquad I_{Ph} = \frac{I_{Line}}{\sqrt{3}}$

أ) من المعادلة رقم (١ -٢)

$$n = \frac{120\ f}{P} = \frac{120 \times 60}{4} = 1800 \quad \text{rpm}$$

ب) عند عدم الحمل I_{Ph}= ٠ وبالتالي فإن $V_{Ph} = E_{Ph}$

وبعد الرجوع إلى منحنى الدائرة المفتوحة للمولد في الشكل(١٩ -٢) نجد أن تيار المجال المقابل هو ٤,٥ A

جـ) عندما يكون المولد يغذي الحمل بتيار قدره ١٢٠٠ A عند معامل قدره ٠,٨ متخلف فهذا يعني أن :

$$I_{Ph} = \frac{1200}{\sqrt{3}} = 692.8 \quad A$$

ومتخلف عن الجهد بزاوية طور هي:

$$\theta = \text{Cos}^{-1}(0.8) = 36.87^{o}$$

وبتطبيق المعادلة (٩ -٢) يمكننا إيجاد الجهد الداخلي E_{Ph} كما يلي:

$$\begin{aligned} E_{Ph} &= V_{Ph} + R_A I_{Ph} + jX_S I_{Ph} \\ &= 480\angle 0 + (0.015)(692.8\angle -36.87) \\ &\quad + (j0.1)(692.8\angle -36.87) \\ &= 480\angle 0 + 10.39\angle -36.87 + 69.28\angle 53.13 \\ &= 529.9 + j49.2 = 532\angle 5.3 \quad V \end{aligned}$$

إذن: لكي يبقى جهد الأطراف V_{Ph} عند ٤٨٠ V يجب أن نضبط الجهد الداخلي E_{Ph} عند ٥٣٢ V ولكي يتحقق ذلك يجب زيادة تيار المجال I_F إلى ٥,٧ A طبقاً لمنحنى الدائرة المفتوحة للمولد الموضح في الشكل رقم (١٩ -٢)

د) لحساب الكفاءة يجب حساب القدرة الخارجة والداخلة والمفقودة كما يلي:

القدرة الخارجة من المولد:

$$\begin{aligned} P_{out} &= \sqrt{3} V_L I_L PF \\ &= \sqrt{3} \times 480 \times 1200 \times 0.8 = 798 \quad \text{kw} \end{aligned}$$

القدرة الداخلة إلى المولد:

$$P_{inp} = P_{out} + P_{Cu1} + P_{Core} + P_F$$

المفاقيد النحاسية في ملفات المنتج P_{Cu}, تحسب كما يلي:

$$P_{Cu1} = 3I_{Ph}^2 R_A$$
$$= 3(692.8)^2(0.015) = 21.6 \text{ kw}$$

إذن:

$$P_{inp} = 798 + 21.6 + 30 + 40 = 889.6 \quad \text{kw}$$

إذن كفاءة المولد هي:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{inp}} \times 100 = \frac{798}{889.6} \times 100 = 89.7\ \%$$

هـ) إذا فصل الحمل بشكل مفاجئ عن المولد فهذا يعني أن التيار سيصبح صفراً وهذا يعني أن ($E_{Ph}=V_{Ph}$) طبقاً للمعادلة (٩ -٢) ، وإذا لم يعاد ضبط تيار المجال فإن جهد الأطراف سيرتفع إلى قيمة الجهد الداخلي أي أن ($V_{Ph}=$ ٥٣٢ V)

و) يعاد حساب E_{Ph} كما في الفقرة (جـ) مع الأخذ بالاعتبار تغير إشارة زاوية التيار لأنه أصبح متقدماً على الجهد كما يلي:

$$E_{Ph} = V_{Ph} + R_A I_{Ph} + jX_S I_{Ph}$$
$$= 480\angle 0 + (0.015)(692.8\angle 36.87)$$
$$+ (j0.1)(692.8\angle 36.87)$$
$$= 480\angle 0 + 10.39\angle 36.87 + 69.28\angle 126.87$$
$$= 446.7 + j61.7 = 451\angle 7.9 \quad \text{V}$$

إذن: لكي يبقى جهد الأطراف V_{Ph} عند ٤٨٠ V عندما يكون معامل القدرة ٠٫٨ متقدم يجب أن يضبط الجهد الداخلي E_{Ph} عند ٤٥١ V وذلك بضبط تيار المجال عند ٤٫١ A

مثال (٢ -٢):

مولد تزامني ذو ستة أقطاب ملفاته موصلة على شكل نجمة جهد الأطراف له ٤٨٠ V عند تردد ٦٠ Hz ، المفاعلة التزامنية ١Ω لكل وجه و مقاومة ملفات المنتج مهملة ، تيار الحمل الكامل له ٦٠ A عند معامل قدره ٠٫٨ متخلف ، مفاقيد الاحتكاك ١٫٥ kw والمفاقيد الحديدية ١ kw عند الحمل الكامل ، و

بماأن مقاومة ملفات المنتج مهملة افترض أن المفاقيد النحاسية في ملفات المنتج مهملة أيضا ، تيار المجال ضبط بحيث يكون جهد الأطراف V ٤٨٠ عند عدم الحمل. احسب ما يلي:

أ) ما هي سرعة دوران هذا المولد

ب) احسب جهد الأطراف عند الحمل الكامل في الحالات التالية:

١ - معامل القدرة ٠,٨ متخلف

٢ - معامل القدرة ١,٠

٣ - معامل القدرة ٠,٨ متقدم

جـ) احسب كفاءة المحرك عند الحمل الكامل إذا كان معامل القدرة ٠,٨ متخلف

د) احسب العزم الداخل إلى المولد

هـ) احسب معامل تنظيم الجهد في حالات التحميل الثلاث المذكورة في الفقرة (ب)

الحــل:

أ) من المعادلة رقم (١ -٢)

$$n = \frac{120\ f}{P} = \frac{120 \times 60}{6} = 1200 \quad \text{rpm}$$

ب) لحساب جهد الأطراف عند تحميل المولد يستحسن استخدام المخطط الاتجاهي لذلك بدلاً من استخدام المعادلة (٩ -٢) لأنها في هذه الحالة ستحتوي على مجهولين هما زاوية الجهد الداخلي (δ) بالإضافة إلى جهد الأطراف V_{Ph}

بما أن ملفات المولد موصلة على شكل نجمة

اذن :

$$V_{Ph} = \frac{V_{Line}}{\sqrt{3}} \qquad \& \qquad I_{Ph} = I_{Line}$$

عند عدم الحمل:

$$V_{Ph} = E_{Ph} = \frac{480}{\sqrt{3}} = 277 \quad \text{V}$$

الحالة (١) :

عند تحميل المولد بالحمل الكامل (A ٦٠) عند معامل قدره ٠,٨ متخلف فإن المخطط الاتجاهي لهذه الحالة سيكون مشابه للمخطط الموضح في الشكل(٢٠ -٢) الحالة(١)

بماأن معامل القدرة متخلف ، إذن التيار سيكون متخلف عن الجهد بزاوية θ

$$\theta = \text{Cos}^{-1}(0.8) = 36.87^{o}$$

في هذا المخطط الاتجاهي جهد الأطراف V_{Ph} مجهول و E_{Ph} يساوي V ٢٧٧

بالرجوع إلى المخطط الاتجاهي وباعتبار المثلث القائم الزاوية oab يمكن حساب جهد الأطراف كما يلي:

$$E_{Ph}^2 = (V_{Ph} + X_S I_{Ph} Sin\theta)^2 + (X_S I_{Ph} Cos\theta)^2$$
$$(277)^2 = (V_{Ph} + 1.0 \times 60 \times Sin 36.87)^2 + (1.0 \times 60 \times Cos 36.87)^2$$
$$76729 = (V_{Ph} + 36)^2 + 2304$$
$$74425 = (V_{Ph} + 36)^2$$
$$272.8 = V_{Ph} + 36$$
$$V_{Ph} = 236.8 \quad V$$

وحيث أن ملفات المولد موصلة على شكل نجمة فإن:

$$V_{Line} = \sqrt{3} V_{Ph} = \sqrt{3} \times 236.8 = 410 \quad V$$

الحالة (٢) :

عند تحميل المولد بالحمل الكامل (A ٦٠) عند معامل قدره واحد فإن المخطط الاتجاهي لهذه الحالة سيكون مشابه للمخطط الموضح في الشكل(٢٠ -٢) الحالة (٢)

في هذه الحالة سيكون التيار في نفس الطور مع جهد الأطراف ، بالرجوع إلى المخطط الاتجاهي وباعتبار المثلث القائم الزاوية oab يمكن حساب جهد الأطراف كما يلي:

$$E_{Ph}^2 = V_{Ph}^2 + (X_S I_{Ph})^2$$
$$(277)^2 = V_{Ph}^2 + (1.0 \times 60)^2$$
$$76729 = V_{Ph}^2 + 3600$$
$$V_{Ph}^2 = 76729 - 3600$$
$$V_{Ph} = 270.4 \quad V$$

وحيث أن ملفات المولد موصلة على شكل نجمة فإن:

$$V_{Line} = \sqrt{3} V_{Ph} = \sqrt{3} \times 270.4 = 468.4 \quad V$$

الحالة (٣) :

عند تحميل المولد بالحمل الكامل (A ٦٠) عند معامل قدره ٠.٨ متقدم فإن المخطط الاتجاهي لهذه الحالة سيكون مشابه للمخطط الموضح في الشكل(٢٠ -٢) الحالة (٣)

بماأن معامل القدرة متقدم ، إذن التيار سيكون متقدم عن الجهد بزاوية θ

$$\theta = \text{Cos}^{-1}(0.8) = 36.87^{o}$$

في هذا المخطط الاتجاهي جهد الأطراف V_{Ph} مجهول و E_{Ph} يساوي V ٢٧٧

بالرجوع إلى المخطط الاتجاهي وباعتبار المثلث القائم الزاوية oab يمكن حساب جهد الأطراف كما يلي:

$$E_{Ph}^{2} = (V_{Ph} - X_S I_{Ph} Sin\,\theta)^2 + (X_S I_{Ph} Cos\,\theta)^2$$

$$(277)^2 = (V_{Ph} - 1.0 \times 60 \times Sin\,36.87)^2 + (1.0 \times 60 \times Cos\,36.87)^2$$

$$76729 = (V_{Ph} - 36)^2 + 2304$$

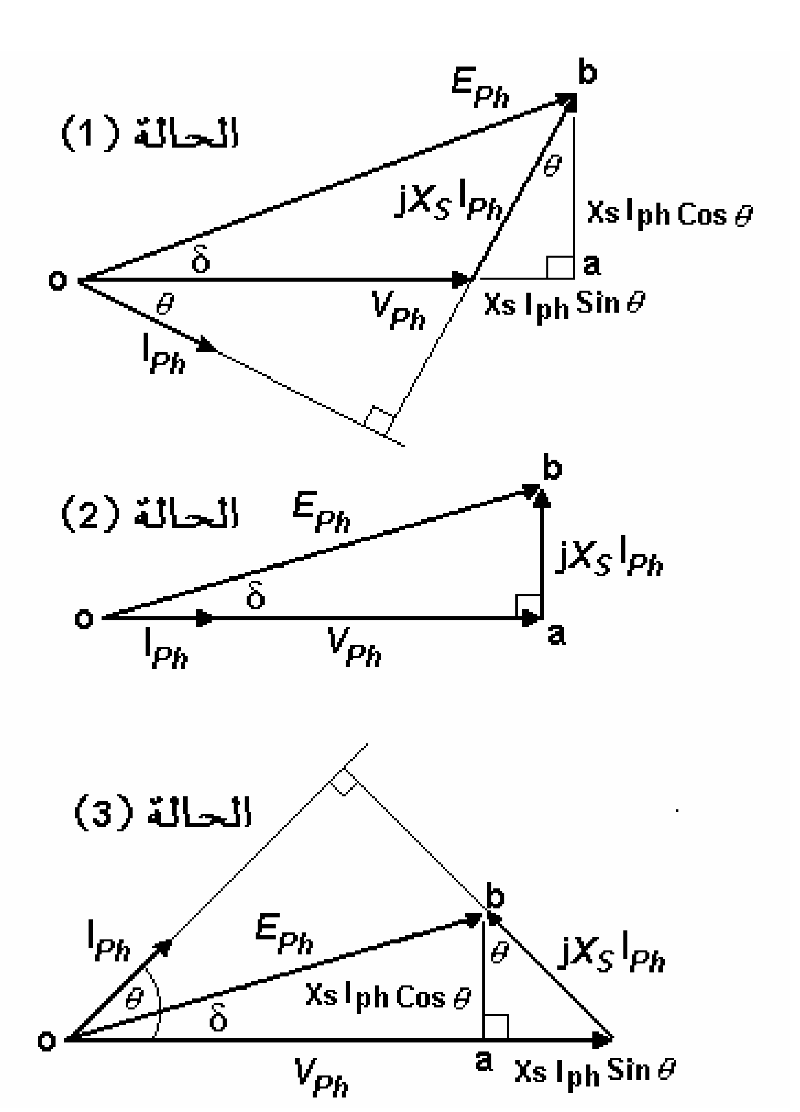
$$74425 = (V_{Ph} - 36)^2$$

$$272.8 = V_{Ph} - 36$$

$$V_{Ph} = 308.8 \quad V$$

وحيث أن ملفات المولد موصلة على شكل نجمة فإن:

$$V_{Line} = \sqrt{3} V_{Ph} = \sqrt{3} \times 308.8 = 535 \quad V$$



شكل رقم ٢٠ -٢: المخطط الاتجاهي للمولد التزامني في حالات تحميل مختلفة (المثال ٢ -٢)

جـ) لحساب الكفاءة يجب حساب القدرة الخارجة والداخلة والمفقودة كما يلي:

القدرة الخارجة من المولد عند الحمل الكامل (٦٠ A) و معامل قدره ٠.٨ متخلف

$$P_{out} = \sqrt{3}\, V_L I_L PF$$
$$= \sqrt{3} \times 410 \times 60 \times 0.8 = 34.1 \quad \text{kw}$$

القدرة الداخلة إلى المولد:

$$P_{inp} = P_{out} + P_{Cu1} + P_{Core} + P_F$$

المفاقيد النحاسية في ملفات المنتج P_{Cu_1} مهملة بسبب إهمال مقاومة ملفات العضو الثابت

إذن:

$$P_{inp} = 34.1 + 0 + 1.0 + 1.5 = 36.6 \quad kw$$

إذن كفاءة المولد هي:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{inp}} \times 100 = \frac{34.1}{36.6} \times 100 = 93.2\ \%$$

د) العزم الداخل إلى المولد يحسب كما يلي:

$$T_{inp} = \frac{P_{inp}}{\omega_m}$$

$$\omega_m = \frac{n\,2\pi}{60} = \frac{1200 \times 2\pi}{60} = 125.7 \quad rad/sec$$

$$T_{inp} = \frac{36.6 \times 10^3}{125.7} = 191.2 \quad N \cdot m$$

هـ) معامل تنظيم الجهد للمولد يمكن حسابه باستخدام المعادلة(١٢ -٢) للحالات الثلاث كما يلي:

$$VR = \frac{E_{Ph} - V_{Ph}}{V_{Ph}} \times 100$$

الحالة (١) :

$$VR = \frac{480 - 410}{410} \times 100 = 17.1\ \%$$

الحالة (٢) :

$$VR = \frac{480 - 468}{468} \times 100 = 2.6\ \%$$

الحالة (٣) :

$$VR = \frac{480 - 535}{535} \times 100 = -10.3\ \%$$

أسئلة وتمارين

١- لماذا يفضل ربط المولدات التزامنية على التوازي؟
٢- ما هي شروط ربط المولدات التزامنية على التوازي؟
٣- ما هي مخاطر توصيل المولد التزامني على التوازي مع عدم تحقق شرط أو أكثر من شروط التزامن؟
٤- ما لمقصود بالقضيب اللانهائي؟
٥- بعد توصيل المولد بالقضيب اللانهائي ، هل يمكن التحكم بسرعة المولد؟
٦- بعد توصيل المولد بالقضيب اللانهائي، هل القدرة تنتقل من المولد إلى القضيب أو العكس؟
٧- متى تفقد الآلة التزامن؟

٨- مولد تزامني ثلاثي الأوجه MW ١٠ ملفاته موصلة على شكل نجمة ، جهد الأطراف له ١١ kV والتردد Hz ٦٠ ،المفاعلة التزامنية له Ω ٠,٦٦ ومقاومة ملفات المنتج Ω ٠,١ ، احسب الجهد الداخلي E_{Ph} عند الحمل الكامل و معامل قدره ٠,٨٥ متخلف

٩- مولد تزامني ثلاثي الأوجه kVA ١٨٠ ملفاته موصلة على شكل دلتا ، جهد الأطراف له V ٢٢٠ والتردد Hz ٥٠ ،المفاعلة التزامنية له Ω ٠,٠٧ و مقاومة ملفات المنتج Ω ٠,٠١٦ ، احسب الجهد الداخلي E_{Ph} عند الحمل الكامل و معامل قدره :
أ) ٠,٧٢ متخلف ، ب) ٠,٧٢ متقدم ، جـ) مساوي للواحد

١٠- مولد تزامني ذو قطبين ملفاته موصلة على شكل نجمة ، جهد الأطراف له V ٢٣٠٠ والتردد ٦٠ Hz، اختبار الدائرة المفتوحة له أعطى القراءات الموضحة في الجدول التالي:

E_{Ph}	٦٠٠	١٢٠٠	١٨٠٠	٢٢٣٠	٢٥٢٠	٢٧٠٠	٢٨٠٠	٢٨٥٠
I_F	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨

المفاعلة التزامنية له Ω ١,١ ومقاومة ملفات المنتج Ω ٠,١٥ ، عند الحمل الكامل يعطي تياراً قدره A ٢٥٠ عند معامل قدره ٠,٨ متخلف ، فإذا كانت مفاقيد الاحتكاك kw ٢٤ و المفاقيد الحديدية kw ١٨ عند الحمل الكامل ، احسب ما يلي:

أ) ارسم منحنى الدائرة المفتوحة للمولد

ب) كم يجب أن يكون تيار المجال لكي يكون جهد الأطراف V ٢٣٠٠ بدون حمل

جـ) إذا كان المولد يغذي حملاً بتيار قدره A ٢٥٠ عند معامل قدره ٠,٨٥ متخلف ، كم يجب أن يكون تيار المجال لكي يحافظ على جهد الأطراف عند V ٢٣٠٠

د) احسب القدرة الداخلة إلى المولد

هـ) افترض أن المولد يغذي حملاً بتيار قدره A ٢٥٠ عند معامل قدره ٠,٨ متقدم ، كم يجب أن يكون تيار المجال لكي يبقى جهد الأطراف عند V ٢٣٠٠

١١- مولد تزامني ذو أربعة أقطاب ملفاته موصلة على شكل دلتا جهد الأطراف له V ٢٨٠ عند تردد Hz ٦٠ ، المفاعلة التزامنية Ω ١,٠٥ لكل وجه و مقاومة ملفات المنتج مهملة ، تيار الحمل الكامل له A ١٠٠ عند معامل قدره ٠,٧٨ متخلف ، مفاقيد الاحتكاك kw ١,٧٥ والمفاقيد الحديدية kw ١,٢ عند الحمل الكامل ، تيار المجال ضبط بحيث يكون جهد الأطراف V ٢٨٠ عند عدم الحمل . احسب ما يلي:

أ) ما هي سرعة دوران هذا المولد

ب) احسب جهد الأطراف عند الحمل الكامل في الحالات التالية:

١ - معامل القدرة ٠,٧٨ متخلف

٢ - معامل القدرة ١,٠

٣ - معامل القدرة ٠,٧٨ متقدم

جـ) احسب كفاءة المحرك عند الحمل الكامل إذا كان معامل القدرة ٠,٧٨ متخلف

د) احسب العزم الداخل إلى المولد

هـ) احسب معامل تنظيم الجهد في حالات التحميل الثلاث المذكورة في الفقرة (ب)

الوحدات التدريبية في هذه الحقيبة

الوحدة الأولى: المحركات الحثية ثلاثية الأوجه

الوحدة الثانية: المولدات التزامنية ثلاثية الأوجه

الوحدة الثالثة: المحركات التزامنية ثلاثية الأوجه

الوحدة الرابعة: التجارب العملية

المملكــة العربيــة الســعودية
المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج



آلات التيــار المتردد

المحركات التزامنية ثلاثية الأوجه

المحركات التزامنية ثلاثية الأوجه

٣

الجدارة: الإلمام الشامل بكيفية تشغيل وأداء المحركات التزامنية ثلاثية الأوجه و تطبيقاتها

الأهداف: عندما يكمل المتدرب هذه الوحدة يكون قد تمكن من تحقيق الأهداف والمهارات التالية:

١. الإلمام بنظرية عمل المحركات التزامنية.
٢. الإلمام بطرق بدء حركة المحركات التزامنية.
٣. فهم كيفية التحكم في معمل القدرة ومنحنيات (V) للمحرك التزامني
٤. الإلمام بكيفية استخدام المحرك التزامني كمكثف تزامني
٥. إجراء الحسابات الفنية المتعلقة بتشغيل المحركات التزامنية ثلاثية الأوجه.
٦. حساب القدرة والعزم والكفاءة للمحركات التزامنية.
٧. فهم كيفية سلوك المحرك التزامني عند تغير الحمل أو تيار المجال
٨. رسم المخطط الاتجاهي وكيفية استخدامه للتحكم في هذه المحركات.

الوقت المتوقع للتدريب: ٤ ساعات

الوسائل المساعدة: التجربة العملية رقم ١٠ في الوحدة التدريبية الرابعة من هذه الحقيبة

متطلبات الجدارة: يجب أن يكون المتدرب قد أتم دراسة الوحدة التدريبية الثانية في هذه الحقيبة (المولدات التزامنية ثلاثية الأوجه)

هذه الوحدة تحتوي على فصل وحيد يشمل كل ما يحتاج المتدرب معرفته عن المحركات التزامنية ثلاثية الأوجه وفي نهايتا أدرج عدد من الأمثلة الحسابية المحلولة حلاً مفصلاً بالإضافة إلى مجموعة من الأسئلة والتمارين التي تم اختيارها بعناية لتكن بمثابة قياس لفهم و استيعاب المتدرب لهذه الوحدة.

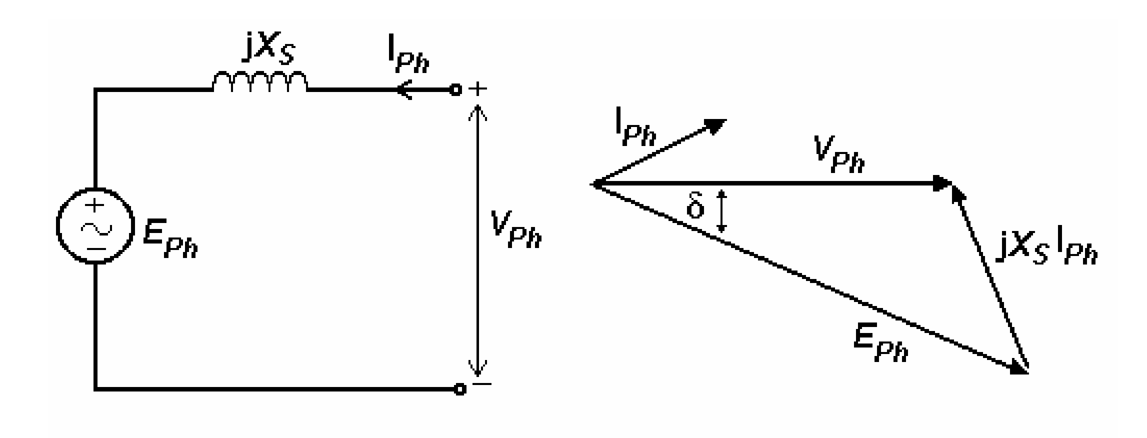
المحركات التزامنية ثلاثية الأوجه

التركيب

الآلة التزامنية يمكن تشغيلها كمحرك تزامني Synchronous Motor وذلك بتغذية العضو الثابت من مصدر جهد ثلاثي الأوجه وتغذية ملفات المجال بتيار مستمر كالمعتاد وعند ذلك ينتج مجالان مغناطيسيان أحدهما يدور بالسرعة التزامنية حسب تردد مصدر الجهد وهو المجال الناتج من العضو الثابت ولأخر يدور حسب سرعة العضو الدوار وعندما تصل سرعة العضو الدوار إلى سرعة المجال الناتج من ملفات العضو الثابت تستقر سرعة المحرك عند هذه السرعة ولا تتغير مهما تغير حمل المحرك مادام أنه ضمن الحمل المقنن له. الشكل (١٦ -٢) يبين أنه عندما تكون زاوية العزم (δ) سالبة فإن الآلة التزامنية تتحول إلى محرك وعندها تكون القدرة الكهربائية داخلة إلى الآلة.

جميع العلاقات الرياضية الخاصة بالمولد التزامني تنطبق تماماً على المحرك التزامني مع الأخذ بالاعتبار تغير اتجاه القدرة وبالتالي يتغير اتجاه التيار في العضو الثابت ، وعلى هذا الأساس تصبح الدائرة المكافئة للمحرك التزامني كما هو موضح في الشكل رقم (١ -٣) مع إهمال مقاومة ملفات العضو الثابت للتبسيط وبالتالي يمكن إيجاد قيمة الجهد الداخلي من المعادلة التالية:

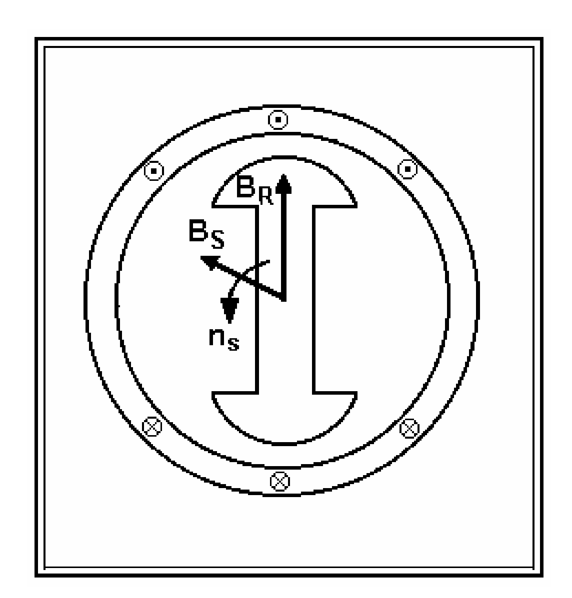
$$E_{Ph} = V_{Ph} - jX_S I_{Ph} \qquad (1 - 3)$$



شكل رقم ١ -٣: الدائرة المكافئة والمخطط الاتجاهي المصاحب للمحرك التزامني

كيفية عمل المحرك التزامني

لكي نفهم كيف يعمل المحرك التزامني ، انظر الشكل (٢ -٣) حيث يوضح محرك تزامني ذي قطبين. عندما تغذى ملفات المجال بالتيار المستمر سيتولد مجالاً مغناطيسياً ثابتاً في العضو الدوار ، أما العضو الثابت فعندما يوصل في مصدر الجهد سيمر فيه تيارات ثلاثية الأوجه والتي بدورها ستولد مجالاً مغناطيسياً دواراً منتظماً وبالتالي سيتواجد داخل الآلة مجالين مغناطيسيين هما B_R و B_S ، كما في الشكل (٢ -٣). مجال العضو الدوار B_R سيحاول أن يكون متعامداً مع مجال العضو الثابت B_S ـ تماماً كما يحدث عندما يوضع قطعتان من المغناطيس قرب بعضهما ـ وحيث أن مجال العضو الثابت يدور فإن مجال العضو الدوار سيحاول اللحاق به (ومعه العضو الدوار نفسه) ولكن لن يتمكن من ذلك بسبب اتساع الزاوية بينهما ، وهكذا يعيد الكرة في كل دورة دون أن يتمكن من البدء وبالتالي لابد من أيجاد وسيلة تجعل العضو الدوار يحافظ على الزاوية بين مجاله ومجال العضو الثابت ، لكي يتحقق ذلك يجب أن يدار العضو الدوار بالسرعة التزامنية أو قريب منها قبل توصيل التيار المستمر في ملفاته وعند التوصيل ستكون الزاوية بين المجالين صغيرة وسيستمر مجال العضو الدوار (ومعه العضو الدوار نفسه) باللحاق بمجال العضو الثابت وسيدور بنفس سرعته (السرعة التزامنية) ولا تتغير مهما تغير حمل المحرك مادام أنه ضمن الحمل المقنن له ، وفي حالة زيادة الحمل عن العزم الأقصى للمحرك (أي أن $\delta >$ -٩٠) فإن العضو الدوار سيفقد التزامن ويبدأ بالتباطؤ التدريجي حتى يتوقف.



شكل رقم ٢ -٣: المجالات المغناطيسية في المحرك التزامني

طرق بدء حركة المحرك التزامني

١ - باستخدام محرك خارجي

بحيث يدار المحرك التزامني بواسطة محرك يركب على نفس العمود حتى تصل السرعة إلى السرعة التزامنية وعندها تغذى ملفات المجال بالتيار المستمر ويفصل محرك البدء وعندها ينتج عزم ذو اتجاه واحد يجعل المحرك يحافظ على السرعة التزامنية مهما تغير الحمل ضمن الحمل المقنن ما لم يفقد التزامن.

٢ - باستخدام قضبان تخميد

وذلك بتركيب مجموعة من القضبان في أحذية الأقطاب ثم تقصر هذه القضبان بحلقات نحاسية من الجهتين بحيث تكون ما يشبه القفص السنجابي في المحركات الحثية، وفي هذه الحالة وعند توصيل التيار الكهربائي يبدأ المحرك بالدوران على أساس أنه محرك حثي وعندما تصل السرعة إلى قرب السرعة التزامنية تغذى ملفات المجال بالتيار المستمر وعندها يتكون مجال مغناطيسي دوار آخر يؤدي وجوده مع المجال الناتج من العضو الثابت إلى نقل المحرك إلى السرعة التزامنية وعندها يتلاشى تأثير قضبان التخميد لأن التيارات المارة بها عند السرعة التزامنية تساوي صفر، ويكون العزم الناتج في هذه الحالة هو عزم المحرك التزامني وليس الحثي، ويحافظ المحرك على سرعته عند السرعة التزامنية مهما تغير الحمل ما لم يفقد التزامن .

٣ - باستخدام ظاهرة التيارات الدوامية

وجد حديثاً محركات تزامنيه ذات عضو دوار مصمت وبدون قضبان تخميد تبدأ حركتها على هذا الأساس بحيث تكون التيارات الدوامية المتولدة في العضو الدوار المصمت عزم مشابه لعزم المحرك الحثي ، وعندما يتسارع العضو الدوار وتصل سرعته قرب السرعة التزامنية سيعلق بالمجال المغناطيسي الدوار الناتج من العضو الثابت وسيدور معه بنفس السرعة وعندئذ ستتلاشى التيارات الدوامية. هذه الطريقة مناسبة للمحركات التزامنية الصغيرة.

٤ - باستخدام مصدر جهد متغير التردد

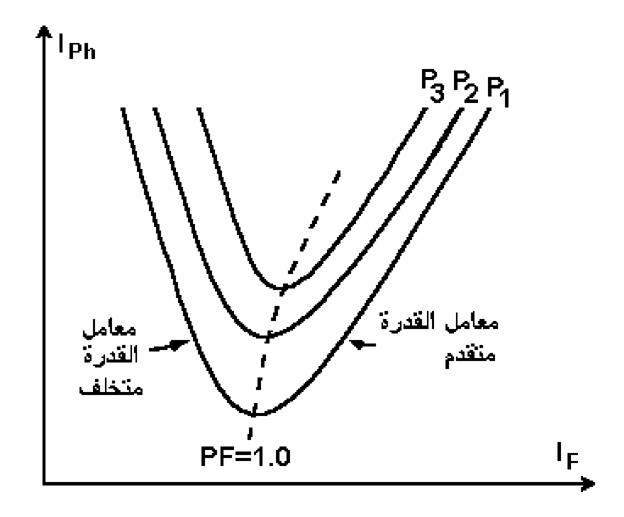
يمكن بدء دوران المحرك التزامني بسهولة إذا كان يغذى من مصدر جهد متغير التردد والذي بدأ ينتشر في السنوات الأخير بفضل التقدم في تقنية إلكترونيات القدرة وذلك بخفض التردد إلى أن تصبح سرعة المجال المغناطيسي الدور قليلة جداً بحيث يتمكن العضو الدوار من أن يعلق به ، وعندما يبدأ العضو

الدوار بالدوران يرفع التردد تدريجياً حتى يصل المحرك إلى السرعة المطلوبة. وسيستمر العضو الدوار بالدوران بنفس سرعة المجال المغناطيسي ما لم يفقد التزامن.

ويلاحظ في جميع الطرق السابقة أنه أثناء عملية البدء وقبل توصيل التيار المستمر إلى ملفات المجال يجب أن تكون ملفات المجال مقصورة عبر مقاومة ، لأن تعرضها للمجال المغناطيسي الدوار الناتج من العضو الثابت سيؤدي إلى تولد جهد عالي على أطراف ملفات المجال قد يؤدي إلى انهيار العازل أو حدوث شرارة بين حلقات الانزلاق.

منحنيات (V) للمحرك التزامني

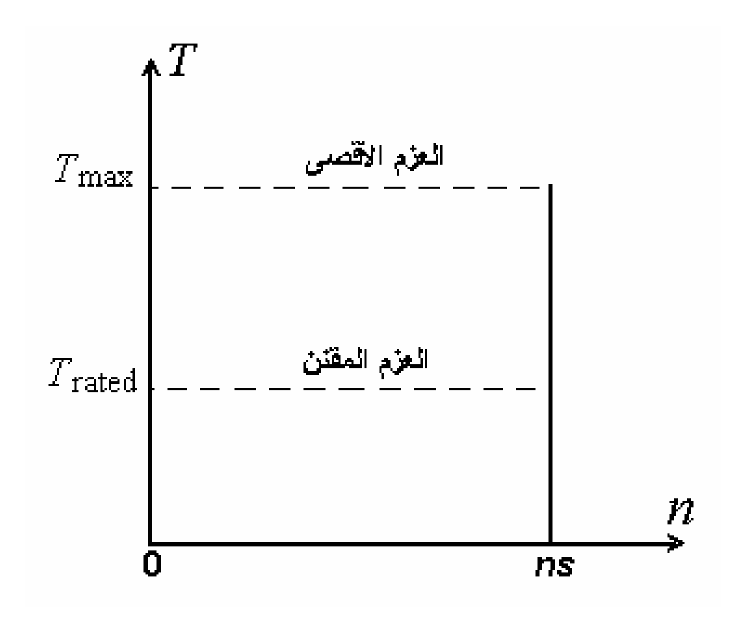
هي منحنيات تحدد خواص تشغيل المحرك التزامني وتربط بين تيار المجال I_F وتيار المنتج I_{Ph} انظر الشكل (٣ -٣)، وكل منحنى يمثل مستوى محدد من القدرة الفعالة P ، في كل منحنى أقل قيمة لتيار المنتج تحدث عندما يكون معامل القدرة مساوي للواحد وعند هذه القيمة لتيار المجال المحرك مستهلك للقدرة الفعالة P فقط ، وعند أي قيمة أقل من هذه القيمة لتيار المجال يكون المحرك مستهلك للقدرة غير الفعالة Q بالإضافة إلى القدرة الفعالة P ويكون معامل القدرة متخلف ، بينما عندما يكون تيار المجال أكبر من هذه القيمة يكون المحرك معطي للقدرة غير الفعالة Q بالإضافة إلى استهلاكه للقدرة الفعالة P ويكون معامل القدرة متقدم في هذه الحالة. وهذا يعني أنه يمكننا بالتحكم في تيار المجال بحيث نجعل المحرك التزامني أما مستهلك للقدرة غير الفعالة أو مزود للشبكة بالقدرة غير الفعالة أي أن المحرك التزامني يمكن أن يعمل كأنه ملف أو مكثف.



شكل رقم ٣ -٣: منحنيات V للمحرك التزامني

منحنى العزم / السرعة للمحرك التزامني

المحرك التزامني عادةً يدير أحمال تتطلب سرعة ثابتة وغالباً يتم تغذيته من مصدر كهربائي ضخم بحيث يظهر بالنسبة للمحرك كأنه قضيب لا نهائي ، هذا يعني أن جهد الأطراف للمحرك وتردد المصدر لا يمكن أن يتغيرا مهما تغيرت القدرة المسحوبة من المصدر بواسطة المحرك، و بمأن سرعة المحرك مرتبطة بتردد المصدر فهذا يعني أن سرعة المحرك لن تتغير مهما تغير الحمل المسلط عليه ما دام أنه ضمن الحمل المقنن للمحرك ، وعليه فإن عزم المحرك سيبقى ثابتاً عند السرعة التزامنية مهما تغير الحمل ما دام أنه ضمن الحمل المقنن للمحرك كما هو موضح في الشكل التالي:



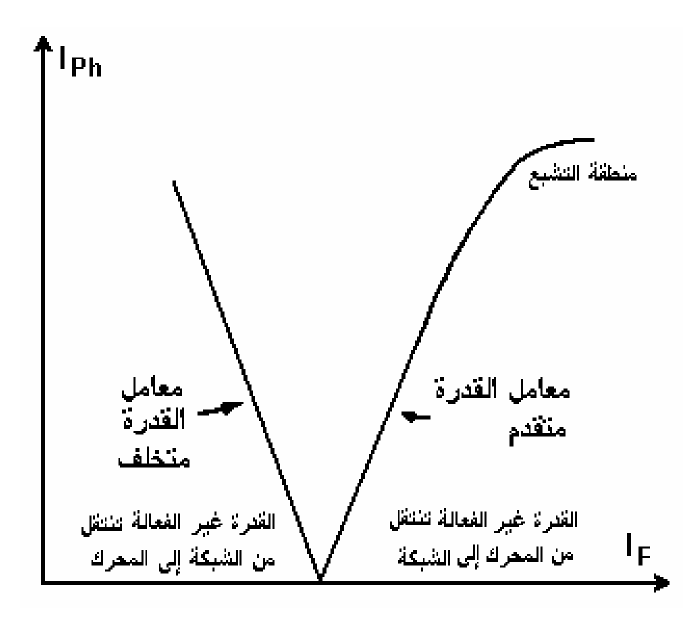
شكل رقم ٤ -٣: منحنى العزم / السرعة للمحرك التزامني

استخدامات المحرك التزامني

يستخدم المحرك التزامني على نطاق ضيق وذلك في التطبيقات التي يكون فيها ثبات السرعة مطلب أساسي ، وفي حالة كون ثبات السرعة ليس مطلب أساسي فيستغني عن المحرك التزامني بغيرة نظراً لارتفاع ثمنه حيث أنه يحتاج إلى نظام إثارة Excitation System ونظام بدء حركة ، ومن أشهر تطبيقاته استخدامه كمكثف تزامني Synchronous Condenser

المكثف التزامني

من التطبيقات الهامة للمحرك التزامني استخدامه كمكثف تزامني وذلك من أجل تحسين معامل القدرة، ولهذا الغرض يصنع المحرك التزامني بدون عمود خارج منه وذلك لأنه يعمل بدون حمل، من أجل ذلك يزاد تيار المجال إلى قيمة معينه بحيث يتقدم تيار المنتج على جهد الأطراف بزاوية قريبة من ٩٠ درجة وهذا يجعله يظهر على الشبكة كأنه مكثف. الشكل (٥ -٣) يبين منحنى **V** للمحرك التزامني عندما يعمل كمكثف تزامني. وما زال المكثف التزامني يوجد منه أعداد كبيرة تحت الخدمة في الأنظمة الكهربائية القديمة ، أما في الوقت الحاضر فقد بدأ يقل استخدامه لهذا الغرض ويستخدم بدلاً منه المكثفات الساكنة static capacitors التي احتلت مكانه سريعاً وذلك لقلة ثمنها وقلة متطلبات الصيانة.

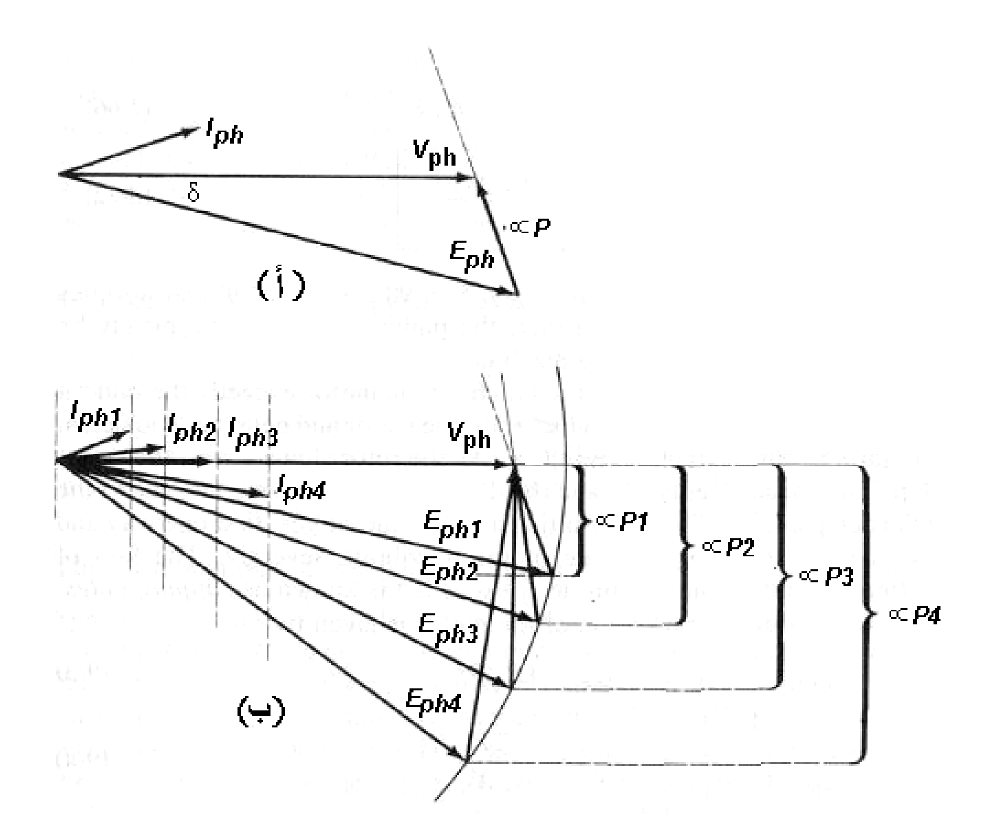


شكل رقم ٥ -٣: منحنى V للمكثف التزامني

سلوك المحرك التزامني في حالة تغيير الحمل مع ثبات تيار المجال:

عندما يدار حمل ما بمحرك تزامني فإن المحرك سوف ينتج ما يكفي من العزم لكي يحافظ على سرعة دورانه عند السرعة التزامنية ، ولكن ماذا يحدث عندما يتغير الحمل؟

لكي نفهم ما يحدث عند تغير الحمل ، افترض أن لمحرك يعمل عند معامل قدره متقدم كما هو موضح في الشكل(٦ -٣)أ ، فإذا ازداد الحمل على العمود فإن سرعة المحرك ستقل ونتيجة لذلك زاوية العزم (δ) سوف تزداد وبالتالي سوف يزداد العزم المتولد طبقاً للمعادلة (١٦ -٢) والذي بدوره سيزيد من سرعة العضو الدوار إلى أن يصل إلى السرعة التزامنية مرة أخرى ولكن عند زاوية عزم (δ) أكبر ، مما يعني استهلاك قدره أكبر ، وهكذا كلما ازداد الحمل على المحرك كما هو واضح من المخطط الاتجاهي في الشكل (٦ -٣) ب ، ويحدث العكس تماماً عندما يقل الحمل على المحرك ، مع ملاحظة أن قيمة E_{Ph} تبقى ثابتة دائماً بسبب عدم تغير قيمة تيار المجال و في المخطط الاتجاهي يتحرك متجهاً E_{Ph} راسماً دائرة هو يمثل نصف قطرها ، والمثال التالي يوضح هذا السلوك للمحرك التزامني.



شكل رقم ٦ -٣: تأثير التغير في الحمل على سلوك المحرك التزامني

مثال(١ -٣):

محرك تزامني ملفاته موصلة على شكل دلتا ، جهد المصدر V ٢٠٨ والتردد Hz ٦٠ ، الممانعة التزامنية له Ω ٢,٥ ومقاومة ملفات المنتج مهملة ، المفاقيد الحديدية kw ١,٠ و مفاقيد الاحتكاك kw ١,٥، يدير حملاً قدره hp ١٥ عند معامل قدره ٠,٨ متقدم ، أوجد ما يلي:

أ) ارسم المخطط الاتجاهي للمحرك

ب) أوجد قيم E_{Ph} ، I_{Ph} ، I_{Line}

جـ) عندما يزداد الحمل إلى hp ٣٠ وضح سلوك المحرك باستخدام المخطط الإتجاهي

د) أوجد قيم E_{Ph} ، I_{Ph} ، I_{Line} بعد زيادة الحمل

هـ) احسب معامل القدرة بعد زيادة الحمل

الحــل:

أ) المخطط الاتجاهي موضح في الشكل (٧ -٣)أ

ب) القدرة الميكانيكية الخارجة من المحرك بالكيلو وات هي:

$$P_{out} = 15 \text{ hp} \times 0.746 \text{ kw/hp} = 11.19 \quad \text{kw}$$

أما القدرة الكهربائية الداخلة إلى المحرك فهي:

$$P_{inp} = P_{out} + P_{Cu1} + P_{Core} + P_F$$

$$P_{inp} = 11.19 + 0 + 1.0 + 1.5 = 13.69 \quad \text{kw}$$

وبالتالي يمكن حساب تيار الخط كما يلي:

$$I_{Line} = \frac{P_{inp}}{\sqrt{3}\, V_{Ph} Cos\ \theta}$$

$$= \frac{13.69 \times 10^3}{\sqrt{3}(208)(0.8)} = 47.5 \quad \text{A}$$

و بماأن ملفات المحرك موصلة على شكل دلتا فإن تيار الوجه يحسب كما يلي:

$$I_{Ph} = \frac{I_{Line}}{\sqrt{3}} = \frac{47.5}{\sqrt{3}} = 27.4 \quad \text{A}$$

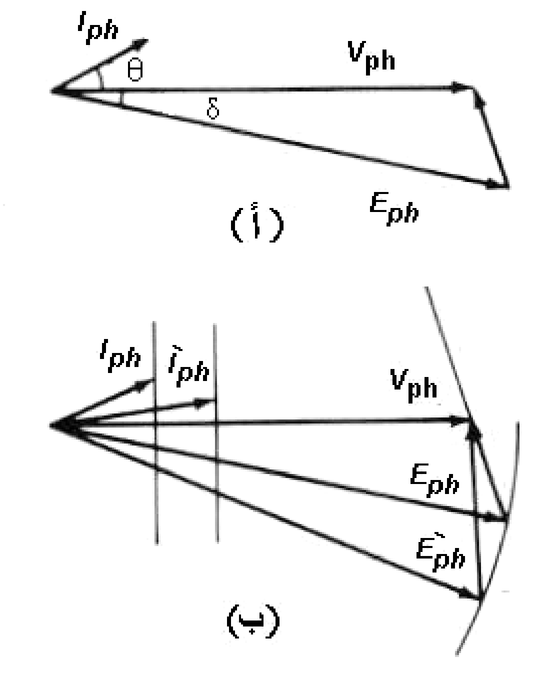
و بماأن المحرك يعمل عند معامل قدره متقدم فإن زاوية تيار الوجه تصبح كما يلي:

$$I_{Ph} = 27.4\angle 36.87^{\circ} \quad \text{A}$$

أما E_{Ph} فيمكن حسابه مباشرة بتطبيق المعادلة (١ -٣) كما يلي:

$$\begin{aligned} E_{Ph} &= V_{Ph} - jX_S I_{Ph} \\ &= 208\angle 0^{\circ} - (j2.5)(27.4\angle 36.87^{\circ}) \\ &= 208\angle 0^{\circ} - 68.5\angle 126.87^{\circ} \\ &= 249.1 - j54.8 = 255\angle -12.4^{\circ} \end{aligned}$$

جـ) عند زيادة الحمل إلى ٣٠ hp فإن العضو الدوار سيتباطئ قليلاً وعندها تزداد الزاوية (δ) بين المجالين مما يعني ازدياد عزم المحرك لكي تصل سرعته إلى وضعها السابق وهذا يعني انفراج الزاوية بين V_{Ph} و E_{Ph} كما هو موضح في المخطط الاتجاهي في الشكل (٧ -٣)ب.



شكل رقم (٧ -٣) المخطط الاتجاهي للمحرك التزامني في حالات تحميل مختلفة (المثال ٣ -١)

د) بعد زيادة الحمل تصبح القدرة الكهربائية الداخلة إلى المحرك كما يلي:

$$P_{inp} = P_{out} + P_{Cu1} + P_{Core} + P_F$$

$$P_{inp} = 30(0.746) + 0 + 1.0 + 1.5 = 24.88 \quad \text{kw}$$

بعد زيادة الحمل قيمة E_{Ph} لم تتغير وإنما ازدادت الزاوية (δ) بينها وبين V_{Ph} هذه الزاوية الجديدة يمكن إيجادها بتطبيق المعادلة (١٤ -٢) كما يلي:

$$\delta = Sin^{-1}(\frac{X_S P}{3V_{Ph}E_{Ph}})$$
$$= Sin^{-1}(\frac{2.5\times 24.88\times 10^3}{3\times 208\times 255})$$
$$= Sin^{-1}(0.391)$$
$$= 23°$$

إذن: الجهد الداخلي E_{Ph} يصبح كما يلي:

$$E_{Ph} = 255 \angle -23°$$

وبالتالي يمكن إيجاد تيار المنتج I_{Ph} من المعادلة (١ -٣) كما يلي:

$$I_{Ph} = \frac{V_{Ph} - E_{Ph}}{jX_S}$$
$$= \frac{208\angle 0° - 255\angle -23}{j2.5}$$
$$= \frac{103.1\angle 105°}{j2.5} = 41.2\angle 15° \quad \text{A}$$

وبالتالي يكون تيار الخط كما يلي:

$$I_{Line} = \sqrt{3}\, I_{Ph} = \sqrt{3}\times 41.2 = 71.4 \quad \text{A}$$

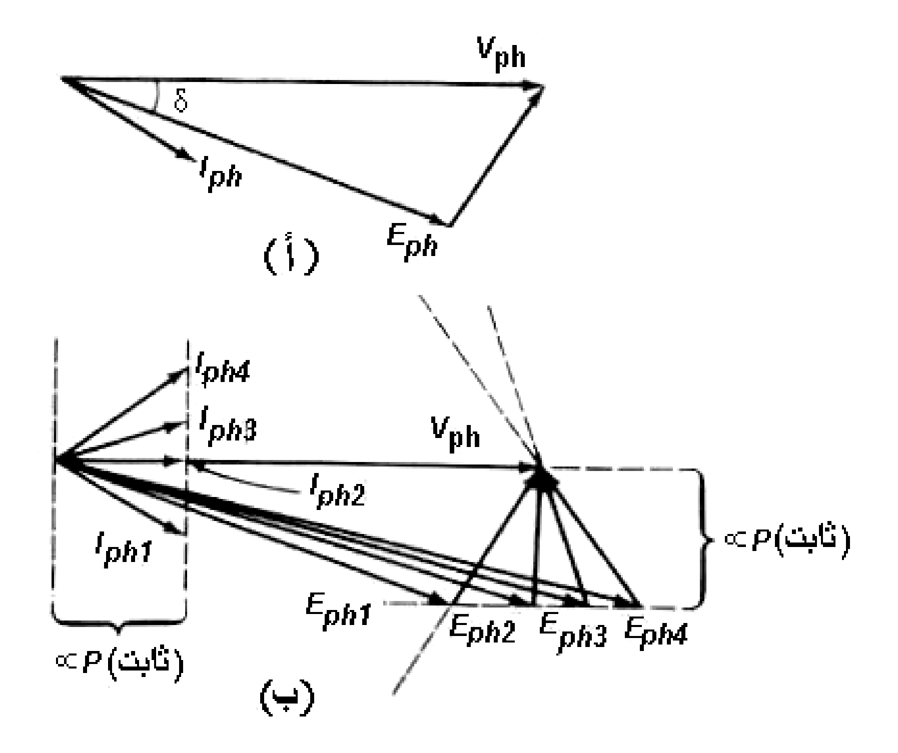
هـ) معامل القدرة بعد زيادة الحمل هو:

$$PF = Cos\,(15°) = 0.966$$

سلوك المحرك التزامني في حالة تغيير تيارا المجال:

لكي يتضح تأثير التغير في تيار المجال على سلوك المحرك التزامني. افترض أن محركاً تزامنياً يعمل عند معامل قدره متخلف كما هو موضح في الشكل (٨ -٣) أ ، عند زيادة تيار المجال I_F فإن E_{Ph} سيزداد أما سرعة الدوران و عزم المحرك فلن يتغير ، هذا يعني أنه كلما زادت قيمة I_F فإن E_{Ph} سيزداد مع ثبات القدرة الخارجة من المحرك، وعليه فإن زيادة E_{Ph} تعني النقص في قيمة I_{Ph} أولاً ثم يزداد بعد ذلك كما هو موضح في الشكل (٨ -٣)ب.

ويلاحظ أنه عند القيم المنخفضة للجهد الداخلي E_{Ph} تيار المنتج سيكون متخلف وبالتالي نجد أن المحرك يعمل كأنه حمل حثي Inductive Load بينما عند القيم المرتفعة للجهد الداخلي E_{Ph} تيار المنتج سيكون متقدم وبالتالي نجد أن المحرك يعمل كأنه حمل سعوي Capacitive Load ، هذا السلوك للمحرك التزامني موضح في المثال (٢ -٣).



شكل رقم (٨ -٣) تأثير التغير في تيار المجال على سلوك المحرك التزامني

مثال(٢ -٣):

افترض أن المحرك التزامني في المثال السابق يدير حملاً قدره hp ١٥ عند معامل قدره ٠.٨٥ متخلف ، أوجد ما يلي:

أ) ارسم المخطط الاتجاهي للمحرك

ب) أوجد قيم E_{Ph} ، I_{Ph} ، I_{Line}

جـ) إذا زيد تيار المجال بنسبة ٢٥٪ وضح سلوك المحرك باستخدام المخطط الاتجاهي ثم أوجد قيم E_{Ph} ، I_{Ph} ، I_{Line} بعد زيادة تيار المجال

د) احسب معامل القدرة بعد زيادة تيار المجال

الحـل:

أ) المخطط الاتجاهي موضح في الشكل (٩ -٣)

ب) من المثال السابق القدرة الكهربائية الداخلة kw ١٣.٦٩ و بماأن المحرك يعمل عند معامل قدره ٠.٨٥ متخلف ، إذن يمكن إيجاد تيار الخط كما يلي:

$$I_{Line} = \frac{P_{inp}}{\sqrt{3}\,V_{Ph}\,Cos\ \theta}$$

$$= \frac{13.69 \times 10^{3}}{\sqrt{3}(208)(0.85)} = 44.7 \quad A$$

و بماأن ملفات المحرك موصلة على شكل دلتا فإن تيار الوجه يحسب كما يلي:

$$I_{Ph} = \frac{I_{Line}}{\sqrt{3}} = \frac{44.7}{\sqrt{3}} = 25.8\ \ A$$

و بماأن المحرك يعمل عند معامل قدره متخلف فإن زاوية تيار الوجه تصبح كما يلي:

$$I_{Ph} = 25.8\angle -31.8^{\circ} \quad A$$

أما E_{Ph} فيمكن حسابه مباشرة بتطبيق المعادلة (١ -٣) كما يلي:

$$\begin{aligned} E_{Ph} &= V_{Ph} - jX_S I_{Ph} \\ &= 208\angle 0° - (j2.5)(25.8\angle -31.8°) \\ &= 208\angle 0° - 64.5\angle 58.2° \\ &= 174 - j54.8 = 182\angle -17.5° \end{aligned}$$

جـ) إذا ازداد تيار المجال I_F بنسبة ٢٥٪ فإن الفيض المغناطيسي سيزداد بنفس النسبة وبالتالي الجهد الداخلي E_{Ph} سيزداد بنفس النسبة كما يلي:

$$\begin{aligned} E'_{Ph} &= 1.25\, E_{Ph} \\ &= 1.25\,(182) = 227.5 \quad V \end{aligned}$$

ومع زيادة E_{Ph} إلا أن القدرة الخارجة من المحرك تبقى ثابتة و تتناسب مع طول ($E_{Ph} Sin\, \delta$) كما هو موضح في الشكل (٩ -٣).

بماأن طول ($E_{Ph} Sin\, \delta$) يبقى ثابت قبل زيادة تيار المجال وبعد ذلك ، لذا يمكننا حساب زاوية العزم الجديدة كما يلي:

$$\begin{aligned} E_{Ph}\, Sin\,\delta &= E'_{Ph}\, Sin\,\delta' \\ \delta' &= Sin^{-1}\left(\frac{E_{Ph}}{E'_{Ph}}\, Sin\,\delta\right) \\ &= Sin^{-1}\left(\frac{182}{227.5}\, Sin\,(-17.5)\right) \\ &= Sin^{-1}(-0.24) = -13.9° \end{aligned}$$

وبالتالي يمكن إيجاد تيار المنتج I_{Ph} من المعادلة (١ -٣) كما يلي:

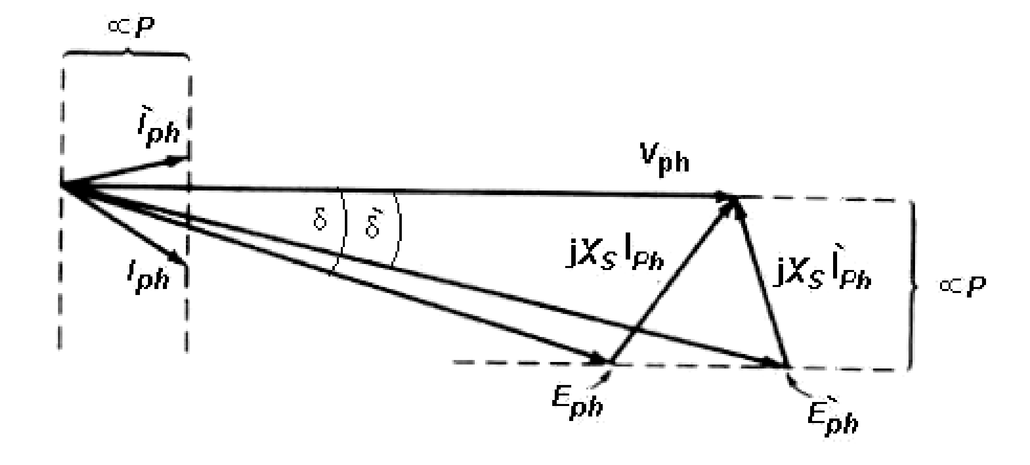
$$I_{Ph} = \frac{V_{Ph} - E_{Ph}}{jX_S}$$
$$= \frac{208\angle 0° - 227.5\angle -13.9°}{j2.5}$$
$$= \frac{56.2\angle 103.2°}{j2.5} = 22.5\angle 13.2° \quad \text{A}$$

وبالتالي يكون تيار الخط كما يلي:

$$I_{Line} = \sqrt{3}\, I_{Ph} = \sqrt{3} \times 22.5 = 38.97 \quad \text{A}$$

د) معامل القدرة بعد زيادة تيار المجال هو:

$$PF = Cos\ (13.2°) = 0.974$$



شكل رقم ٩ -٣: المخطط الاتجاهي للمحرك التزامني في حالة تغير تيار المجال (المثال ٢ -٣)

أسـئلة وتمـاريـن

١- كيف يعمل المحرك التزامني؟

٢- لماذا المحرك التزامني لا يستطيع البدء من تلقاء نفسه؟

٣- قارن بين طرق بدء المحرك التزامني من حيث: سهولة الاستخدام - التكلفة

٤- لماذا يجب قصر ملفات المجال أثناء عملية البدء؟

٥- اشرح كيف يمكن تغيير معامل القدرة للمحرك التزامني من متقدم إلى متخلف أو العكس دون حدوث تغير في القدرة الخارجة منه

٦- متى يفضل استخدام المحرك التزامني على الحثي؟

٧- ماذا يعني فقد التزامن بالنسبة للمحرك التزامني؟

٨- قارن بين المحرك الحثي و التزامني من حيث : التكلفة - طرق البدء - السرعة - العزم

٩- محرك تزامني ملفاته موصلة على شكل نجمة ، جهد الخط للمصدر V ٣٦٠ والتردد Hz ٥٠ ، الممانعة التزامنية له Ω ٢,١ ومقاومة ملفات المنتج مهملة ، المفاقيد الحديدية W ٩٦٠ و مفاقيد الاحتكاك W ١٤٢٠، يدير حملاً قدره kw ١١ عند معامل قدره ٠,٨ متقدم ، أوجد ما يلي:

أ) ارسم المخطط الاتجاهي للمحرك

ب) أوجد قيم E_{Ph} ، I_{Ph} ، I_{Line}

جـ) عندما يزداد الحمل إلى kw ١٨ وضح سلوك المحرك باستخدام المخطط الإتجاهي

د) أوجد قيم E_{Ph} ، I_{Ph} ، I_{Line} بعد زيادة الحمل

هـ) احسب معامل القدرة بعد زيادة الحمل

١٠- محرك تزامني ملفاته موصلة على شكل دلتا ، يغذى من مصدر جهده V ٤٨٠ ، الممانعة التزامنية له Ω ١ ومقاومة ملفات المنتج مهملة ، المفاقيد الحديدية و مفاقيد الاحتكاك مهملة أيضا. أوجد ما يلي:

أ) إذا كان يدير حملاً قدره hp ٤٠٠ عند معامل قدره ٠,٨٥ متقدم ، أوجد قيمة وزاوية كل من E_{Ph} ، I_{Ph}

ب) إذا زيد تيار المجال بنسبة ١٠٪ وضح سلوك المحرك باستخدام المخطط الاتجاهي ثم أوجد قيم E_{Ph} ، I_{Ph} وكذلك معامل القدرة الجديد.

الوحدات التدريبية في هذه الحقيبة

الوحدة الأولى: المحركات الحثية ثلاثية الأوجه

الوحدة الثانية: المولدات التزامنية ثلاثية الأوجه

الوحدة الثالثة: المحركات التزامنية ثلاثية الأوجه

الوحدة الرابعة: التجارب العملية

المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج



آلات التيار المتردد

التجارب العملية

التجارب العملية

٤

المقدمة

هذه الوحدة خاصة بالتجارب العملية المصاحبة لمقرر آلات التيار المتردد، ولا تعتبر وحدة تدريبية مستقلة بذاتها وإنما هي لدعم و مساندة المقرر النظري في الوحدات الثلاث السابقة، فالهدف الرئيسي لهذه الوحدة هو ترسيخ المفاهيم التي تعلمها المتدرب نظرياً، فكل تجربة من التجارب العشر التي ستقدم في هذه الوحدة تهدف إلى إيصال فكرة معينة إلى ذهن المتدرب أو التأكيد على مفهوم معين، وقد نص على الهدف من كل تجربة في مقدمتها، لذلك نؤكد على أهمية أن لا يمكن المتدرب من إجراء التجربة إلا بعد دراسة الأساس النظري لها لأن ذلك يؤدي إلى عدم تحقق الفائدة المرجوة منها.

ولقد صممت هذه التجارب بطريقة إجمالية دون الدخول في تفاصيل التجربة الدقيقة وذلك مراعاةً للاختلاف بين معامل الآلات الكهربائية في الكليات المختلفة من حيث الأدوات والتجهيزات المتاحة في كل معمل بحيث يسهل إجراء التجربة في أي معمل آلات كهربائية يحتوي على الأدوات والتجهيزات الأساسية، أما اختيار الأجهزة والأدوات المستخدمة وكيفية ضبطها وتحديد ظروف التشغيل فيبقى على مدرس المعمل. ولقد أدرج في نهاية كل تجربة عدد من الأسئلة تهدف من خلال الإجابة عليها إلى ترسيخ مفهوم معين أو إيصال فكرة معينة إلى ذهن المتدرب كما أنها تعتبر مقياس لفهم واستيعاب المتدرب للتجربة والهدف منها.

إلى الطالب: لكي يحصل المتدرب على الفائدة المرجوة من التجربة ويحدث التكامل بين ما يدرس في الفصل وما ينفذ في المعمل ينصح المتدرب بإتباع ما يلي:

١- على المتدرب أن يطلع على الأساس النظري للتجربة في مقرر الفصل قبل تنفيذها لكي يسهل عليه فهمها و إدراك المغزى منها.

٢- لكي يتجنب المتدرب إعادة التجربة مرة أخرى بسبب نسيان أو إهمال بعض القراءات أو حدوث بعض الأخطاء عليه أن يقوم بقراءة التجربة كاملة مع الأسئلة الواردة في أخرها قبل البدء بتنفيذها.

٣- على المتدرب أن يجيب على الأسئلة الواردة في آخر كل تجربة بنفسه من واقع نتائج التجربة أو من المقرر النظري ولا بأس أن يستعين بزميل أو مدرس إن لم يتمكن من الحصول على الإجابة الصحيحة بنفسه.

٤- على المتدرب أن يقدم تقرير إلى مدرس المعمل في الحصة القادمة عن التجربة التي قام بتنفيذها. ويجب أن يشتمل التقرير على ما يلي:

- اسم ورقم التجربة
- الهدف من التجربة
- مخطط توصيل التجربة
- نتائج التجربة وإذا كان هناك منحنيات ترسم على ورقة مربعات.
- الإجابة الكاملة على الأسئلة الواردة في نهاية كل تجربة.
- إذا كان هناك أي إضافات من مدرس المعمل على التجربة مثل تبديل بعض الأجهزة أو تعليمات بخصوص كيفية الضبط أو تحديد ظروف التشغيل أو غير ذلك تضاف إلى التقرير تحت عنوان مستقل مثل (تعديلات أو تعليمات .... أو غير ذلك). هذا الجزء من التقرير سيكون مفيداً للطالب عند مراجعته للتجربة من أجل الامتحان العملي.

إلى الدرب:

١- ينصح أن تعطى أول تجربة للطلاب بعد مضي أسبوعين من بدء محاضرات المقرر النظري وذلك لتفادي تقدم ما يدرس في المعمل على ما يدرس في الفصل وبالتالي تنعدم الفائدة المرجوة من هذه التجارب.

٢- ينصح أن يقوم للمدرب بإجراء التجربة بنفسه لأول مرة قبل تقديمها للمتدرب وذلك لتلافي المفاجآت والصعوبات التي عادةً ما تحدث عند إجراء التجربة لأول مرة.

٣- على للمدرب أن يضيف ما يراه مناسباً أو ضرورياً أو ما يتلاءم مع ظروف معمله إلى التجربة (مثل تبديل بعض الأجهزة أو تعليمات بخصوص ضبط الأجهزة أو تحديد ظروف التشغيل)

٤- على مدرس المعمل أن يولي عناية خاصة بإجابات المتدربين التي في نهاية كل تجربة لما لها من أهمية في ترسيخ هدف التجربة في ذهن المتدرب

٥- يلاحظ أن وقت تنفيذ التجربة لا يتعدى ٥٠ دقيقة في أطول التجارب بينما الوقت المخصص للمعمل هو ١٠٠ دقيقة، لذا يحبذ حث المتدرب استغلال باقي وقت المعمل في البدء بكتابة تقرير التجربة ومناقشة النتائج.

التجربة رقم (١)

تركيب المحرك الحثي ثلاثي الأوجه[1]

الهدف من التجربة :

١- التعرف عن قرب على تركيب المحرك الحثي ثلاثي لأوجه

٢- توصيل المحرك وتشغيله

أدوات التجربة :

محرك حثي ثلاثي الأوجه ذو قفص سنجابي أو ذو عضو دوار ملفوف – جهاز فولتميتر

أولاً : التعرف على تركيب المحرك

خطوات العمل :

١- يقوم المتدرب بفك المحرك و إخراج العضو الدوار أو يمكّن من الإطلاع على محرك مفكوك في المعمل

٢- تعرف على تركيب المحرك عن قرب (العضو الثابت - العضو الدوار) من حيث (التركيب - عدد المجاري - طريقة اللف - حلقات الانزلاق - الفرش الكربونية)

٣- قم بقراءة لوحة بيانات الآلة التي تحت يدك و سجل البيانات التالية (قدره الآلة، عدد الأقطاب، الجهد المقنن، السرعة المقننة، التيار المقنن، التردد)

ثانياً : توصيل المحرك وتشغيله

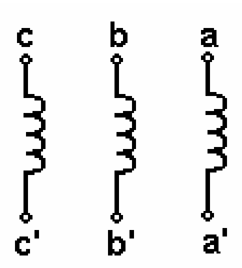
خطوات العمل :

١- أحضر محرك حثي ثلاثي الأوجه ذو قفص سنجابي أو ذو حلقات انزلاق

٢- باستخدام جهاز أوميتر قم بتحديد أطراف الملفات الثلاثة في العضو الثابت كما في الشكل التالي:

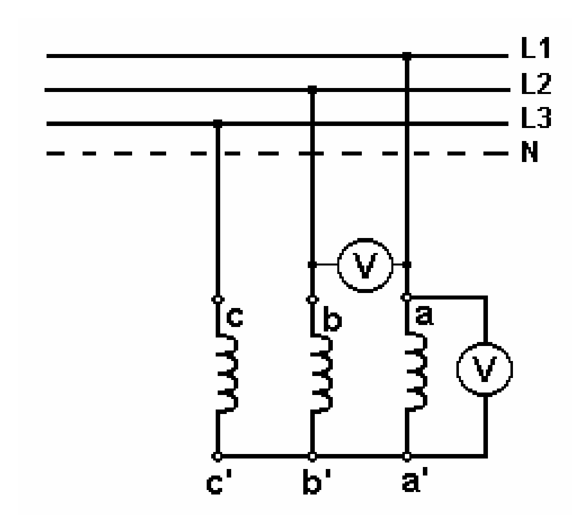
---

[1] راجع الأساس النظري لهذه التجربة في الصفحة رقم ٣



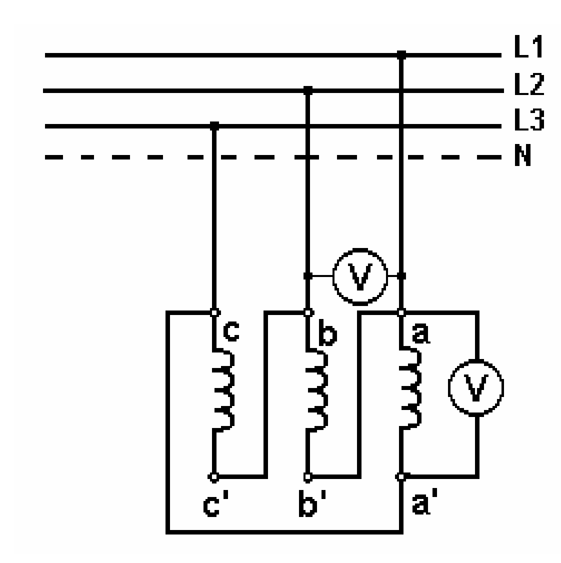
٣- إذا كان المحرك ذو حلقات انزلاق قم بقصر أطراف العضو الدوار مع بعضها

٤- قم بتوصيل الملفات على شكل نجمة ومن ثم قم بتوصيلها إلى مصدر الجهد المناسب للمحرك كما في الشكل التالي:



٥- قم بتسجيل قراءتي جهد الوجه وجهد الخط

٦- قم بتوصيل الملفات على شكل دلتا ومن ثم قم بتوصيلها إلى مصدر الجهد المناسب للمحرك كما في الشكل التالي:



٧- قم بتسجيل قراءتي جهد الوجه وجهد الخط

أجب عن الأسئلة التالية :

١- كم عدد المجاري في العضو الثابت ؟
٢- كم عدد أقطاب الآلة ؟ وما نصيب كل قطب من مجاري العضو الثابت؟
٣- كم نصيب كل وجه من مجاري العضو الثابت؟
٤- لماذا يصنع العضو الثابت أو العضو الدوار من شرائح حديدية ؟
٥- ما هي فائدة حلقات الانزلاق ؟
٦- احسب السرعة التزامنية للآلة التي قمت باختبارها.
٧- هل تختلف السرعة التزامنية عن السرعة المسجلة على لوحة بيانات الآلة؟ ، إذا كانت تختلف لماذا؟
٨- احسب العلاقة بين جهد الوجه وجهد الخط في حالة التشغيل على شكل Y ثم Δ
٩- استنتج العلاقة بين تيار الوجه وتيار الخط في حالة التشغيل على شكل Y ثم Δ

التجربة رقم (٢)

دراسة سلوك المحرك الحثي ثلاثي الأوجه

الهدف من التجربة:

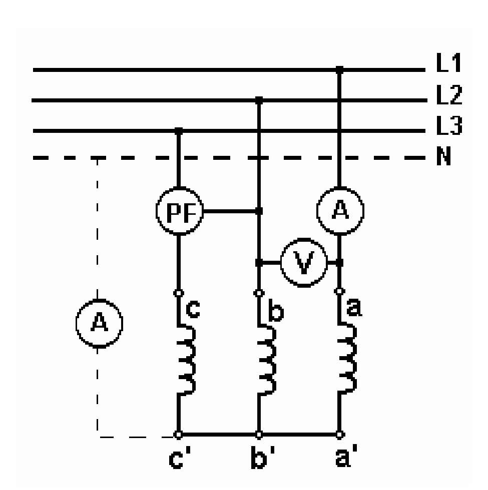
فهم خصائص و سلوك المحرك الحثي ثلاثي الأوجه عند حالات تشغيل مختلفة

أدوات التجربة :

محرك حثي ثلاثي الأوجه ذو قفص سنجابي أو ذو عضو دوار ملفوف –جهاز أميتر– جهاز فولتميتر– جهاز قياس معامل القدرة – فرملة مغناطيسية

خطوات العمل:

١- قم بتوصيل ملفات المحرك على شكل نجمة ثم قم بتوصيله إلى مصدر جهد مناسب كما هو موضح في الشكل التالي:



٢- قم بربط فرملة مغناطيسية بعمود المحرك

٣- شغل المحرك بدون حمل وسجل السرعة و التيار و معامل القدرة

٤- قم بتحميل المحرك تدريجياً حتى تصبح السرعة مساوية للسرعة المسجلة في لوحة بيانات المحرك

٥- سجل قيمة التيار والسرعة ومعامل القدرة

٦- قم بإطفاء المحرك ثم أفصل الفرملة عن عموده

٧- ركب جهاز أميتر لقراءة التيار المار في المحايد

٨- قم بتشغيل المحرك وسجل قيمة التيار المار في المحايد

٩- اصل أحد الأوجه والمحرك شغال ، سجل مشاهداتك

١٠-سجل قيمة التيار المار في المحايد

١١-أفصل المحرك ثم أعد تشغيله وأحد الأوجه مفصول بالإضافة إلى المحايد ، سجل مشاهداتك

١٢-أعد توصيل المحرك إلى الوضع الطبيعي

١٣-قم بالتبديل بين وجهين ثم أعد تشغيل المحرك، سجل مشاهداتك

أجب عن الأسئلة التالية :

١- صف كيف يتغير كل مما يلي قبل تحميل المحرك وبعد تحميله:

٢- التيار - السرعة - معامل القدرة

٣- صف تغير قيمة التيار المار في المحايد قبل وبعد فصل أحد الأوجه، وما سبب الاختلاف؟

٤- هل المحرك يستطيع البدء والمحايد مفصول، ولماذا؟

٥- هل المحرك يستطيع البدء و أحد الأوجه مفصول ، ولماذا؟

٦- ما هو سبب انعكاس دوران المحرك بعد التبديل بين أي وجهين من أوجه المحرك؟

٧- هل اختلاف العضو الدوار يؤثر في سلوك المحرك في الحالات التي قمت بتنفيذها؟

التجربة رقم (٣)

إجراء قياسات في دائرة العضو الدوار[1]

الهدف من التجربة:

معرفة كيفية تغير الجهد والتيار والتردد في دائرة العضو الدوار عند التغير في سرعة الدوران

أدوات التجربة :

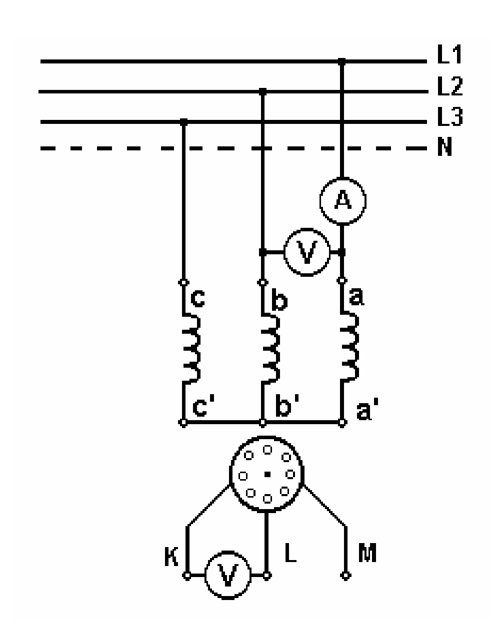
محرك حثي ثلاثي الأوجه ذو عضو دوار ملفوف –جهاز أميتر– جهاز فولتميتر– جهاز قياس التردد – فرملة مغناطيسية – مقاومة صغيرة (١ أوم تقريباً)

خطوات العمل:

١-بتوصيل قم بتوصيل ملفات المحرك على شكل نجمة مع ربطه بالفرملة المغناطيسية.

٢-أضبط الفرملة المغناطيسية على الحمل (صفر)

٣-قم جهاز فولتميتر بين أ ي طرفين من أطراف العضو الدوار مع ترك الثالث مفتوح كما في الشكل التالي:

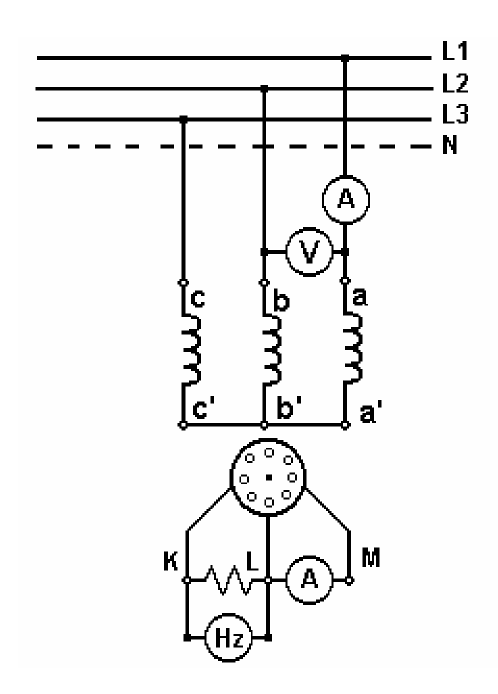


[1] راجع الأساس النظري لهذه التجربة في الصفحة رقم ١٣

٤-قم بتوصيل المحرك بمصدر الجهد المناسب وسجل ملاحظاتك وقراءات الأجهزة

٥-أعد الخطوتين (٣ و ٤) مع استبدال جهاز قياس الجهد بجهاز قياس التردد

٦-قم بقصر أطراف العضو الدوار عبر جهاز الأميتر والمقاومة كما في الشكل التالي:



٧-أضبط الفرملة على الحمل صفر ثم قم بتشغيل المحرك

٨-قم بتسجيل التيار في العضو الدوار والتردد والسرعة عند حالات تحميل مختلفة حتى تصل إلى الحمل المقنن للمحرك أو السرعة المقننة طبقاً للجدول التالي:

العــزم (T)	٠								
السرعة (n)									
التيــار(I)									
التردد (f)									

أجب عن الأسئلة التالية :

١- لماذا المحرك لا يستطيع البدء عندما تكون أطراف العضو الدوار مفتوحة

٢- كم نسبة عدد لفات العضو الثابت إلى عدد لفات العضو الدوار؟

٣- كم تردد الجهد في العضو الدوار عند السكون ؟ ولماذا؟

٤- افرض أن المحرك يدور عند السرعة التزامنية ، كم تتوقع أن يكون التردد في العضو الدوار؟

٥- اختر الإجابة الصحيحة فيما يلي:

أ - عند زيادة السرعة تردد التيار في العضو الدوار (يقل/ يزداد)

ب - عند زيادة الحمل تردد تيار في العضو الدوار (يقل/ يزداد)

جـ - عند زيادة السرعة جهد العضو الدوار (يقل/ يزداد)

التجربة رقم (٤)

تحديد عناصر الدائرة المكافئة[1]

الهدف من التجربة :

تحديد قيم عناصر الدائرة المكافئة للمحرك الحثي ثلاثي الأوجه عن طريق تجربتي عدم الحمل وعدم الحركة و اختبار التيار المستمر

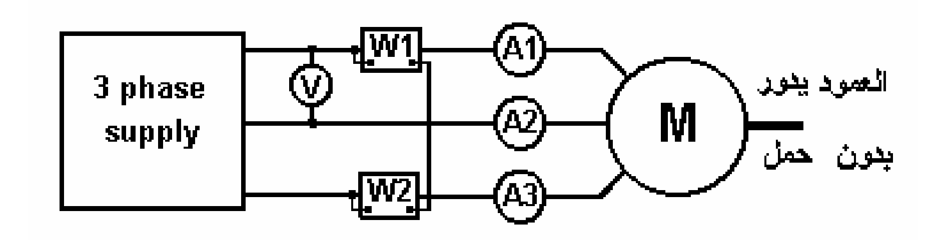
أدوات التجربة :

محرك حثي ثلاثي الأوجه ذو قفص سنجابي أو ذو عضو دوار ملفوف – ٣ جهاز أميتر – جهاز فولتميتر – ٢جهاز قياس القدرة – فرملة مغناطيسية

خطوات العمل:

أولاً: اختبار عدم الحمل

١ - قم بتوصيل ملفات المحرك على شكل نجمة أو دلتا ثم قم بتوصيله إلى مصدر جهد مناسب كما هو موضح في الشكل التالي:



٢ - شغل المحرك عند الجهد المناسب لطريقة توصيل الملفات (نجمة أو دلتا) ثم قم بتسجيل قراءات الأجهزة

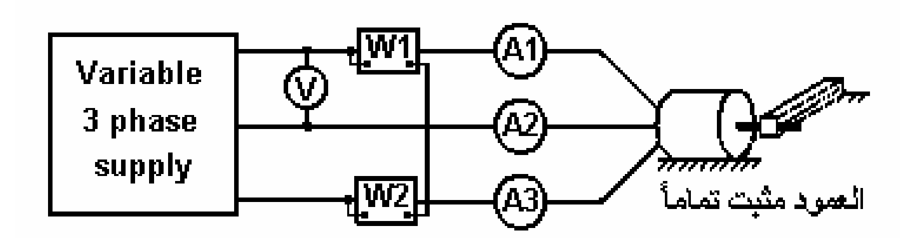
٣ - من القيم المسجلة قم بحساب X_m و R_c كما في المثال (٤ -١) أو المثال (٥ -١) حسب طريقة توصيل الملفات التي اتبعت (نجمة أو دلتا)

[1] راجع الأساس النظري لهذه التجربة في الصفحة رقم ٢٠

ثانياً: اختبار عدم الحركة

١ - قم بربط الفرملة بالمحرك وضبطها على أقصى قيمة بحيث لا يتمكن المحرك من الدوران

٢ - قم بتوصيل أجهزة القياس بالمحرك مع مصدر جهد قابل للتحكم كما هو موضح في الشكل التالي:



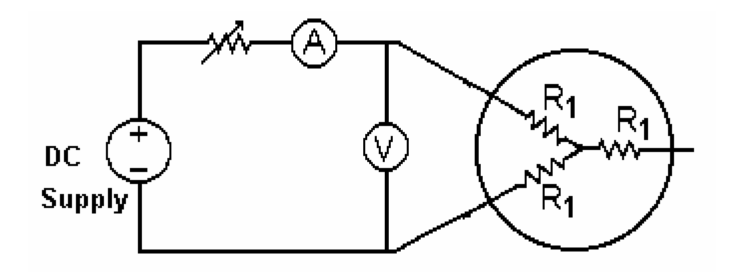
٣ - قم بزيادة الجهد تدريجياً حتى يصل تيار الخط إلى القيمة المقننة للمحرك

٤ - عند هذه النقطة سجل قراءات الأجهزة

٥ - من القيم المسجلة قم بحساب Req و Xeq كما في المثال() أو المثال() حسب طريقة توصيل الملفات التي اتبعت (نجمة أو دلتا)

ثالثا: اختبار التيار المستمر

١ - قم بتوصيل أطراف المحرك بمصدر تيار مستمر كما هو موضح في الشكل التالي:



٢ - قم بزيادة الجهد تدريجياً حتى يصل التيار إلى القيمة المقننة للمحرك

٣ - سجل قراءات الجهد والتيار.

٤ - قم بحساب قيمة R_1 طبقاً للمعادلة (١٦ -١)

أجب عن الأسئلة التالية :

١ - أرسم الدائرة المكافئة موضحاً عليها القيم التي قمت بحسابها
٢ - لماذا اختبار عدم الحمل يسمى أحياناً اختبار الدائرة المفتوحة؟
٣ - لماذا اختبار عدم الحركة يسمى أحياناً اختبار القصر؟
٤ - في اختبار عدم الحركة الجهد يزاد تدريجياً ولا يطبق فجاءة على المحرك لماذا؟
٥ - قيمة المقاومة المحسوبة من اختبار التيار المستمر هل تعتبر صحيحة ١٠٠٪ ؟

التجربة رقم (٥)

تسجيل منحنيات خواص المحرك الحثي ثلاثي الأوجه

الهدف من التجربة :

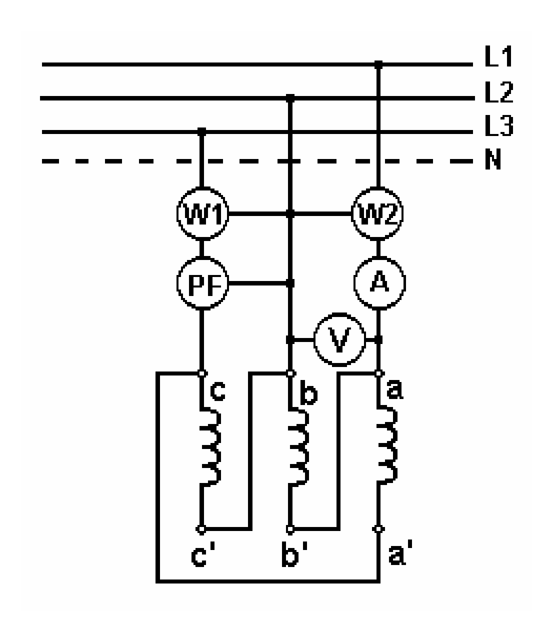
تسجيل منحنيات التيار، معامل القدرة ، القدرة الداخلة ، القدرة الخارجة ، الانزلاق، الكفاءة والسرعة كدالة في العزم

أدوات التجربة :

محرك حثي ثلاثي الأوجه ذو قفص سنجابي أو ذو عضو دوار ملفوف –جهاز أميتر– جهاز فولتميتر– جهاز قياس معامل القدرة – ٢ جهاز قياس القدرة - فرملة مغناطيسية

خطوات العمل :

١ - قم بتوصيل ملفات المحرك على شكل دلتا ثم قم بتوصيله إلى مصدر جهد مناسب بعد توصيل أجهزة القياس كما هو موضح في الشكل التالي:



٢ - قم بربط فرملة مغناطيسية بعمود المحرك

٣ - شغل المحرك وقم بتحميله تدريجياً ابتداءً من عدم الحمل إلى الحمل المقنن (أي حتى تصبح سرعته مساوية للسرعة المسجلة في لوحة بيانات المحرك) مع تسجيل القراءات في الجدول التالي:

العــزم (T)	٠								
السرعة (n)									
التيــار(I)									
معامل القدرة (PF)									
القدرة الداخلة (P_i)									
القدرة الخارجة(P_o)									
الكفاءة (η)									
الانزلاق (S)									

٤ - احسب القدرة الخارجة عند كل نقطة من المعادلة التالية:

$$P_o = \frac{T \times n}{9.55}$$

٥ - احسب الكفاءة والانزلاق عند كل نقطة ثم دون القيم المحسوبة في الجدول أعلاه

أجب عن الأسئلة التالية:

١ - قم برسم جميع القيم المدونة في الجدول مع العزم

٢ - صف كيفية تغير كل مما يلي مع التغير في العزم

التيار - السرعة - معامل القدرة – الانزلاق - الكفاءة

٣ - عند توصيل ملفات المحرك على شكل نجمة هل ستتغير القراءات أم لا؟ ولماذا؟

التجربة رقم (٦)

طرق بدء حركة المحرك الحثي ثلاثي الأوجه[1]

الهدف من التجربة :

دراسة تأثير استخدام محول ذاتي أو مفتاح تحويل (Δ /Y) على تيار البدء للمحرك الحثي ثلاثي الأوجه

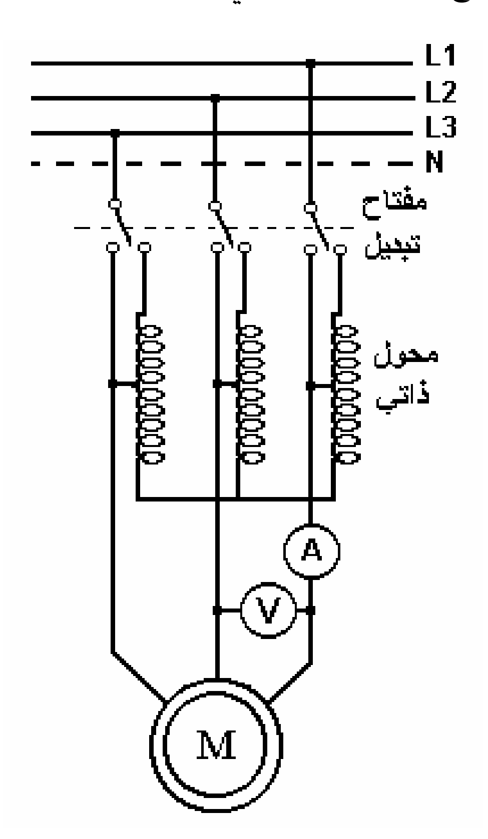
أدوات التجربة :

محرك حثي ثلاثي الأوجه ذو قفص سنجابي أو ذو عضو دوار ملفوف –جهاز أميتر– جهاز فولتميتر– فرملة مغناطيسية – محول ذاتي ثلاثي الأوجه - مفتاح تبديل ثلاثي الأوجه - مفتاح تحويل (Δ /Y)

أولاً : البدء باستخدام محول ذاتي

خطوات العمل :

١- قم بتوصيل ملفات المحرك على شكل نجمة ومن ثم توصيلها إلى أطراف المحول الذاتي عن طريق مفتاح التبديل كما هو موضح في الشكل التالي:



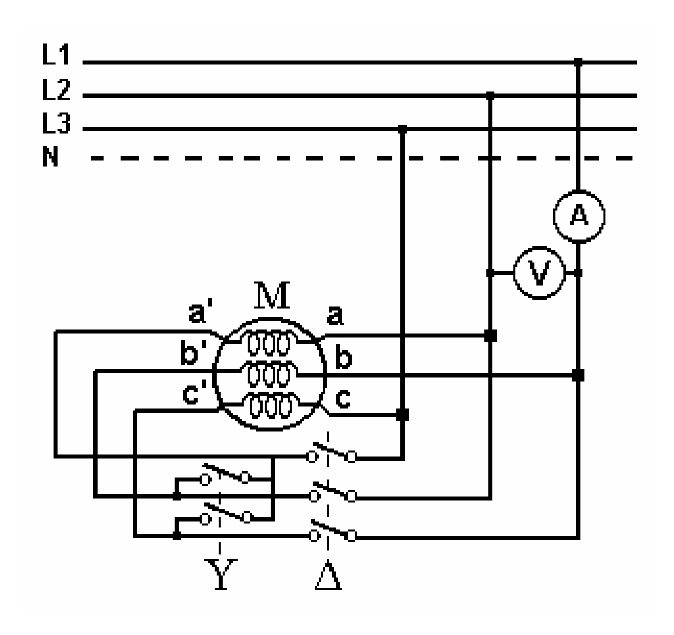
[1] راجع الأساس النظري لهذه التجربة في الصفحة رقم ٤٦

٢- قم بربط فرملة مغناطيسية بعمود المحرك واضبطها على نصف الحمل المقنن للمحرك
٣- اضبط المحول الذاتي بحيث يعطي نصف الجهد تقريباً
٤- قم بتوصيل القاطع الرئيسي ولاحظ قيمة التيار لحظة البدء ثم بعد تسارع المحرك استخدم مفتاح التبديل لعزل المحول الذاتي وتوصيل المحرك مباشرة إلى مصدر الجهد
٥- كرر عملية البدء أكثر من مرة عن طريق المحول الذاتي ولاحظ قيمة تيار البدء وكذلك العزم
٦- كرر عملية البدء بدون المحول الذاتي ولاحظ قيمة تيار البدء وكذلك العزم
٧- سجل مشاهداتك في كل حالة

ثانياً: البدء باستخدام مفتاح تحويل (Y / Δ)

خطوات العمل:

١ - قم بتوصيل الأطراف الستة لملفات المحرك إلى مفتاح التحويل (Y/ Δ) كما هو موضح في الشكل التالي:



٢ - قم بربط فرملة مغناطيسية بعمود المحرك واضبطها على نصف الحمل المقنن للمحرك
٣ - اضبط مفتاح التحويل على الوضع Y ثم قم بتوصيل القاطع الرئيسي ولاحظ قيمة التيار لحظة البدء ثم بعد تسارع المحرك حول مفتاح التبديل إلى الوضع Δ
٤ - كرر عملية البدء أكثر من مرة ولاحظ قيمة تيار البدء وكذلك العزم
٥ - كرر عملية البدء بالتوصيل مباشرةً على الوضع Δ ولاحظ قيمة تيار البدء وكذلك العزم
٦ - سجل مشاهداتك في كل حالة

أجب عن الأسئلة التالية :

١- كم نسبة انخفاض الجهد في حالة استخدام طريقة (Y/ Δ)
٢- كم نسبة انخفاض التيار في حالة استخدام طريقة (Y/ Δ)
٣- إذا أردنا تخفيض تيار البدء إلى الربع ، كم يجب أن يكو ن الجهد على أطراف المحول؟
٤- محرك حثي ملفاته موصلة على شكل نجمة من قبل المصنع ،أي الطريقتين تصلح لتقليل تيار البدء لديه؟
٥- محرك حثي يمكن توصيل ملفاته على شكل Y عندما يكون جهد المصدر٣٨٠ V أو على شكل Δ عندما يكون جهد المصدر ٢٢٠ V ، أي الطريقتين تصلح لتقليل تيار لبدء لديه ؟ ولماذا؟

التجربة رقم (٧)

تـأثير تغيير مقاومة العضو الدوار على أداء المحرك الحثي[١]

الهدف من التجربة :

دراسة تأثير إضافة مقاومات إلى دائرة العضو الدوار على العزم والسرعة والتيار للمحرك الحثي ثلاثي الأوجه ذي العضو الدوار الملفوف.

أدوات التجربة :

محرك حثي ثلاثي الأوجه ذو عضو دوار ملفوف –جهاز أميتر – جهاز فولتميتر – فرملة مغناطيسية – مقاومات بدء حركة

خطوات العمل:

١- قم بتوصيل ملفات المحرك على شكل نجمة ثم قم بتوصيله إلى مصدر جهد مناسب بعد توصيل أجهزة القياس

٢- وصل مقاومات البدء بأطراف العضو الدوار كما هو موضح في الشكل التالي:

٣- قم بربط فرملة مغناطيسية بعمود المحرك مع ضبطها على وظيفة قياس العزم

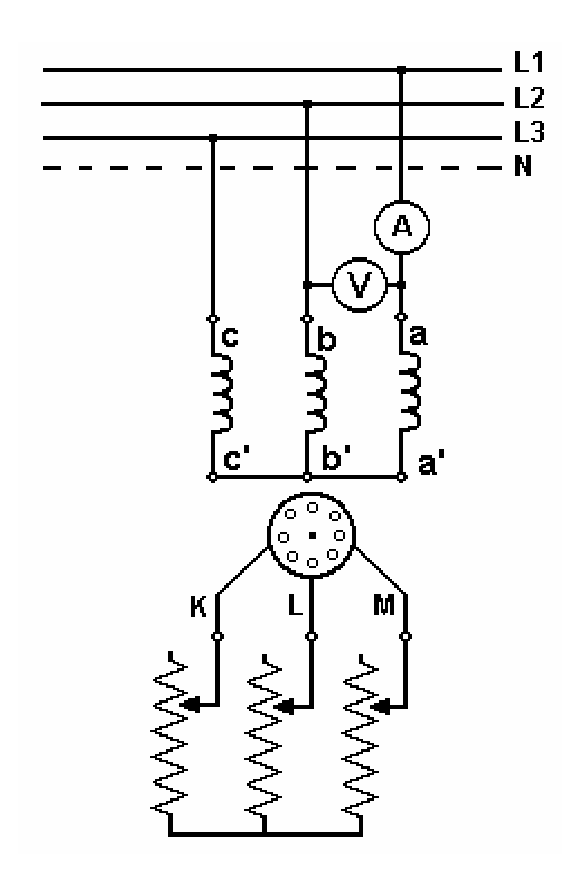
٤- ٤اضبط مقاومة بدء الحركة على القيمة صفر ثم شغل المحرك ودون قراءات العزم والسرعة والتيار

٥- أطفئ المحرك ثم كرر ذلك عند قيم مختلفة لمقاومات البدء ثم دون القراءات في الجدول التالي:

مقاومة البدء (Ω)	٠					
العـــزم (T)						
السـرعة (n)						
التيــار(I)						

٦- قم برسم القراءات التي حصلت عليها مع التغير في قيمة مقاومة البدء

[١] راجع الأساس النظري لهذه التجربة في الصفحة رقم ٥٠ و ٥٢



أجب عن الأسئلة التالية:

١ - لماذا التيار يقل عند زيادة مقاومة العضو الدوار؟

٢ - هل منحنى العزم للمحرك يتغير عند زيادة مقاومة العضو الدوار ؟ إذا كانت الإجابة بنعم صف كيف يتغير؟

٣ - هل عزم البدء يتغير بزيادة مقاومة العضو الدوار؟ إذا كانت الإجابة بنعم صف كيف يتغير؟

٤ - لماذا تنخفض السرعة مع زيادة مقاومة العضو الدوار؟

٥ - من المعلوم أن زيادة مقاومة العضو الدوار تقلل من كفاءة المحرك ، كيف ذلك؟

التجربة رقم (٨)

تسجيل المنحنيات المميزة للآلة التزامنية[1]

الهدف من التجربة:

إجراء اختباري عدم الحمل والقصر للآلة التزامنية ثم رسم منحنى الدائرة المفتوحة ومنحنى القصر وكذلك حساب المفاعلة التزامنية للآلة من تلك النتائج

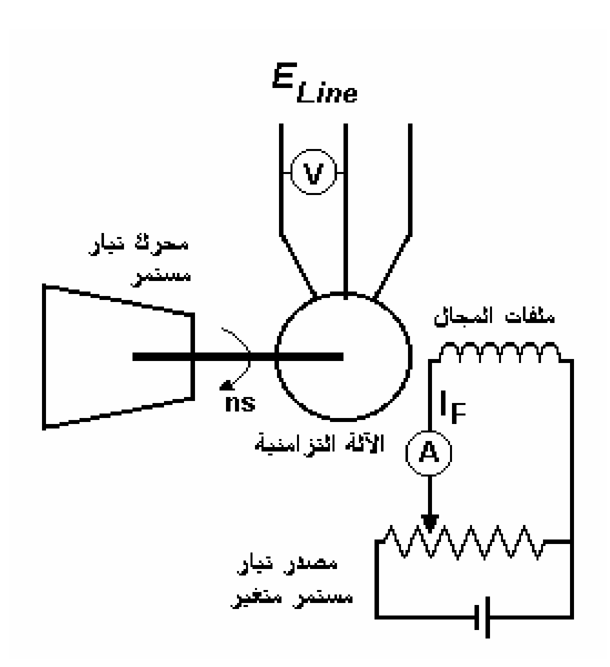
أدوات التجربة :

آلة تزامنية ثلاثية الأوجه - محرك تيار مستمر – ٢جهاز أميتر – جهاز فولتميتر – جهاز قياس السرعة

أولاً: اختبار عدم الحمل

خطوات العمل:

١- قم بربط محرك التيار المستمر بالآلة التزامنية ثم قم بتوصيله إلى مصدر تيار مستمر مناسب
٢- وصل التيار المستمر إلى ملفات المجال للآلة التزامنية عن طريق جهاز أميتر
٣- وصل ملفات المنتج على شكل نجمة ثم اترك أطرافه مفتوحة بعد توصيل جهاز فولتميتر بين أي طرفين كما هو موضح في الشكل التالي:



٤- قم بتشغيل محرك التيار المستمر حتى تصل سرعته إلى السرعة التزامنية للمولد

---

[1] راجع الأساس النظري لهذه التجربة في الصفحة رقم ٧٠

٥- اضبط قيمة تيار المجال على الصفر ثم سجل قيمة الجهد المتولد على أطراف الآلة

٦- كرر هذه العملية عدة مرات مع زيادة تيار المجال في كل مرة إلى أن يصبح الجهد على أطراف الآلة ثابتاً تقريباً

٧- دون القراءات في الجدول التالي ثم ارسم العلاقة بين تيار المجال I_F وجهد الأطراف E_{Ph}

جهد الأطراف (E_{Ph})										
تيار المجال (I_F)	٠									

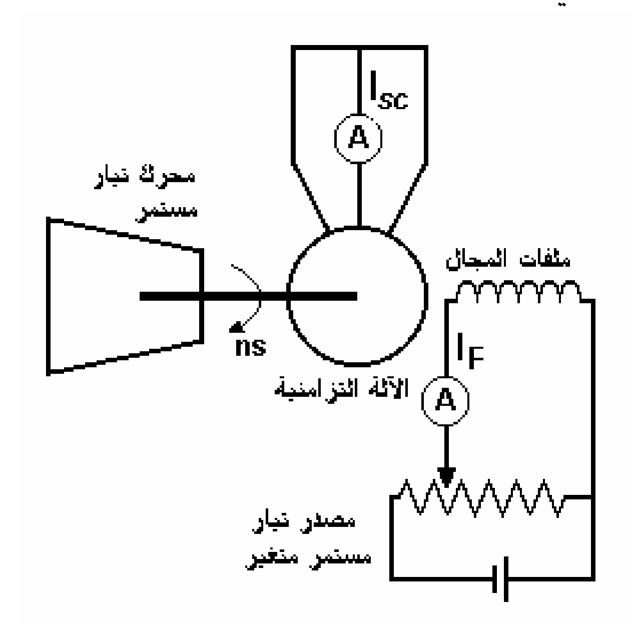
ثانياً: اختبار القصر

خطوات العمل:

١- قم بربط محرك التيار المستمر بالآلة التزامنية ثم قم بتوصيله إلى مصدر تيار مستمر مناسب

٢- وصل التيار المستمر إلى ملفات المجال للآلة التزامنية عن طريق جهاز أميتر

٣- وصل ملفات المنتج على شكل نجمة ثم قم بقصر أطرافه مع بعضها عن طريق جهاز أميتر كما هو موضح في الشكل التالي:



٤- قم بتشغيل محرك التيار المستمر حتى تصل سرعته إلى السرعة التزامنية للمولد

٥- اضبط قيمة تيار المجال على الصفر ثم سجل قيمة التيار المار في المنتج I_{SC}

٦- كرر هذه العملية عدة مرات مع زيادة تيار المجال في كل مرة إلى أن يصبح التيار المار في المنتج مساوياً للتيار المقنن للآلة التزامنية ، مع ملاحظة أن السرعة تقل مع زيادة تيار المجال وبالتالي يجب ضبط السرعة دائماً عند السرعة التزامنية في كل مرة

٧- دون القراءات في الجدول التالي ثم ارسم العلاقة بين تيار المجال I_F وتيار المنتج I_{SC}

تيار المنتج (I_{SC})										
تيار المجال (I_F)	٠									

٨- من نتائج اختباري عدم الحمل والقصر أوجد المفاعلة التزامنية للآلة ثم ارسم العلاقة بينها وبين تيار المجال بعد قياس مقاومة ملفات المنتج R_A باستخدام جهاز الأوميتر

أجب عن الأسئلة التالية :

١ - هل دائماً E_{Ph} يساوي V_{Ph} وما هي العلاقة التي تربطهما؟

٢ - لقد تبين من اختبار الدائرة المفتوحة أن زيادة تيار المجال تؤدي إلى زيادة الجهد على أطراف الآلة ، هل هناك عامل آخر يؤدي إلى زيادة الجهد على أطراف الآلة أيضا؟

٣ - حدد منطقة التشبع على منحنى الدائرة المفتوحة وماذا يقصد بالتشبع المغناطيسي؟

٤ -في اختبار القصر تيار القصر I_{SC} لا يزاد عن قيمة التيار المقنن للآلة ، لماذا؟

٥ - لماذا كلما ازداد تيار المجال في اختبار القصر قلت سرعة الآلة بينما لا يحدث هذا في اختبار الدائرة المفتوحة؟

التجربة رقم (٩)

توصيل المولد التزامني بالشبكة العامة[١]

الهدف من التجربة:

إجراء عملية التزامن باستخدام طريقة المصابيح من أجل ربط المولد التزامني بقضيب لا نهائي (الشبكة العامة) بعد التأكد من تحقق شروط التزامن الأربعة.

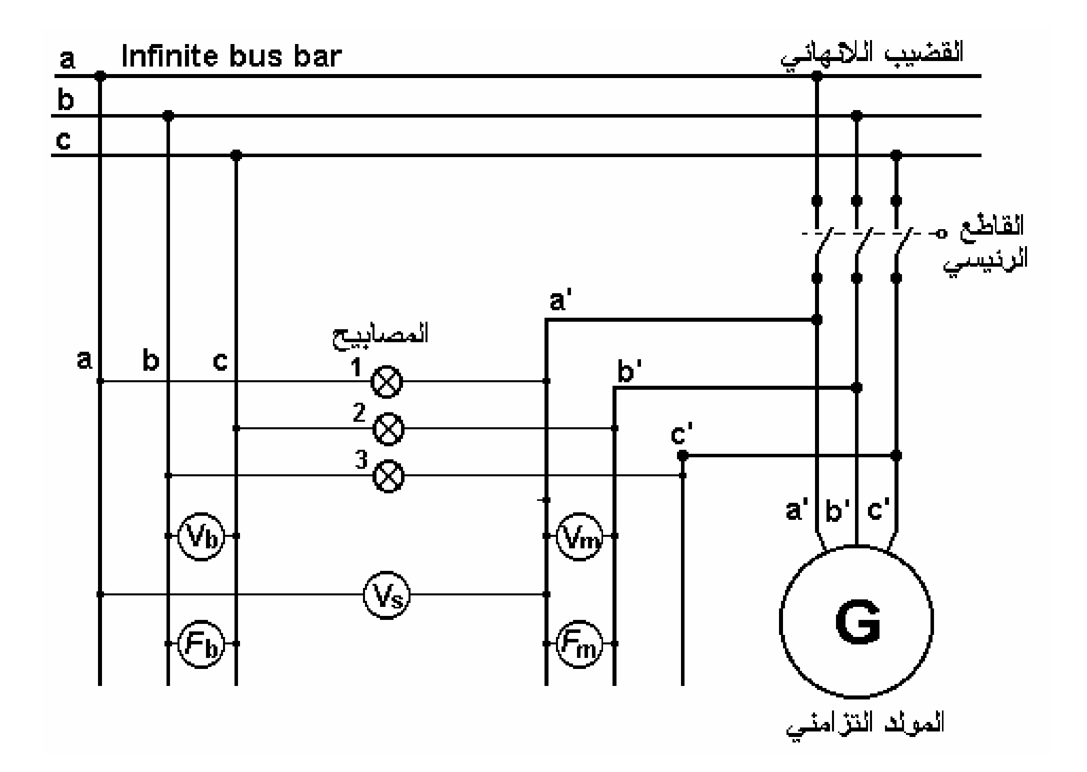
أدوات التجربة :

آلة تزامنية ثلاثية الأوجه - محرك تيار مستمر –٣ أجهزة فولتميتر – جهاز قياس السرعة – ٢جهز قياس التردد – ٣ مصابيح

خطوات العمل:

١- قم بربط محرك التيار المستمر بالآلة التزامنية ثم قم بتوصيله إلى مصدر تيار مستمر مناسب

٢- وصل التيار المستمر إلى ملفات المجال للآلة التزامنية



(١) راجع الأساس النظري لهذه التجربة في الصفحة رقم ٧٨

٣- وصل ملفات المنتج على شكل نجمة أو دلتا بحيث يكون جهد الخط مساوي لجهد الخط للقضيب اللانهائي

٤- قم بتوصيل أجهزة القياس والمصابيح كما هو موضح في الشكل أعلاه

٥- قم بتشغيل محرك التيار المستمر إلى أن تصل سرعته إلى قرب السرعة التزامنية

٦- أرفع جهد المولد حتى يكون مساوياً لجهد القضيب (Vm = Vb) وذلك بزيادة تيار المجال

٧- اضبط تردد المولد بحيث يكون قريب من تردد القضيب وذلك بزيادة سرعة الدوران عند محاولة ضبط سرعة الدوران يحدث إحدى حالتين بالنسبة للمصابيح :

الحالة الأولى : جميع المصابيح تضأ وتنطفأ بشكل عشوائي وهذا يعني أن شرط تتابع الأطوار للمولد والقضيب مختلف وعندها يجب المبادلة بين أي طرفين من أطراف المولد لكي ينعكس تتابع أطوار المولد وبعدها نلاحظ أن إضاءة المصابيح أصبحت بشكل منتظم ومتتابع.

الحالة الثانية : جميع المصابيح تضيء وتنطفئ بشكل منتظم ومتتابع وهذا يعني أن تتابع الأطوار للمولد والقضيب اللانهائي متماثل.

إذا تحققت الحالة الثانية يتبقى ضبط التردد وذلك عن طريق التحكم بالسرعة التزامنية للآلة ، ويتضح ذلك في سرعة تتابع الإضاءة فإذا زادت سرعة تتابع إضاءة المصابيح يلزم زيادة أو تقليل سرعة المولد بحيث يكون تتابع إضاءة المصابيح بطيء قدر الإمكان وفي اللحظة التي يكون فيها (Vs = ٠) أو المصباح الأول منطفئ بينما الثاني والثالث مضاءين يكون الشرط الرابع قد تحقق أي أن الجهود أصبحت في نفس الطور ، في هذه اللحظة تكون الآلة في لحظة تزامن مع القضيب اللانهائي وعندها قم بإغلاق القاطع الرئيسي.

٨- بعد إتمام ربط المولد قم بزيادة سرعة المحرك أو إنقاصها وسجل ملاحظاتك بالنسبة للسرعة

أجب عن الأسئلة التالية :

١- بعد إغلاق القاطع الرئيسي هل القدرة منتقلة من المولد إلى الشبكة أو العكس؟

٢- لماذا لم تتغير سرعة المولد عند محاولة زيادتها أو إنقاصها؟

٣- إذا كان (Vm = Vb) لكن (Vs ≠ ٠) فماذا يعني ذلك؟

٤- ما هي خطورة إغلاق القاطع الرئيسي بشكل عشوائي؟

٥- أحياناً قد تنتقل القدرة من الشبكة إلى الآلة (أي أن المولد قد تحول إلى محرك) متى يحدث ذلك؟

التجربة رقم (١٠)

المحرك التزامني ثلاثي الأوجه[1]

الهدف من التجربة:

بدء حركة المحرك التزامني كمحرك حثي ثم تحميلة بالحمل المقنن مع التحكم في معامل القدرة

أدوات التجربة :

محرك حثي ثلاثي الأوجه ذو عضو دوار ملفوف - فرملة مغناطيسية – جهاز قياس معامل القدرة - ٢جهاز أميتر - جهاز قياس السرعة

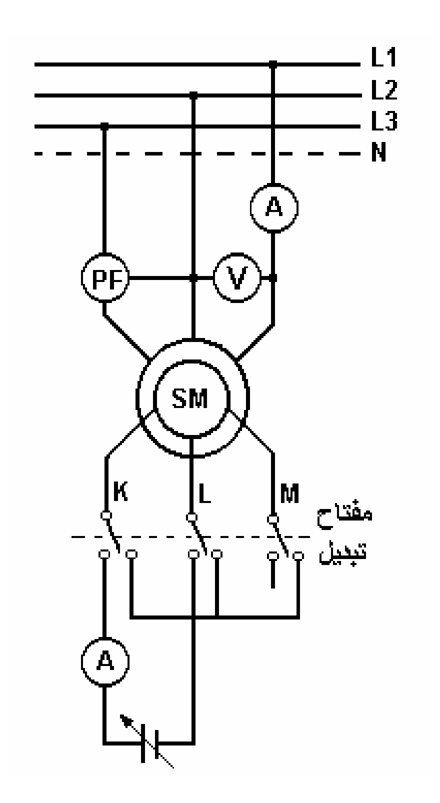
خطوات العمل:

أولاً : البدء كمحرك حثي

في هذه الطريقة المحرك الحثي ثلاثي الأوجه ذي العضو الدوار الملفوف سيستخدم كآلة تزامنية وذلك بتغذية العضو الدوار بتيار مستمر كما يلي:

١- قم بتوصيل ملفات المنتج للآلة التزامنية (المحرك الحثي ثلاثي الأوجه ذو العضو الدوار الملفوف) على شكل نجمة أو دلتا بحيث يكون جهد الخط مساوي لجهد المصدر
٢- قم بقصر أطراف العضو الدوار مع بعضها بواسطة مفتاح تبديل
٣- وصل أطراف المنتج بمصدر الجهد لكي تشتغل الآلة كمحرك حثي
٤- بعد أن تستقر سرعة المحرك قم بتغذية ملفات العضو الدوار بتيار مستمر بواسطة مفتاح التبديل بحيث يتم تغذية التيار المستمر خلال طرفين بينما يبقى الثلث مفتوحاً كما هو موضح في الشكل التالي:

[1] راجع الأساس النظري لهذه التجربة في الصفحة رقم ٩٨ -١٠٠



٥- قم بتكرار إطفاء وتشغيل المحرك وسجل مشاهداتك بالنسبة لتغير سرعة المحرك قبل التغذية بالتيار المستمر وبعد ذلك.

ثانياً: تحميل المحرك

١- قم بربط الفرملة المغناطيسية بالمحرك

٢- قم بتشغيل المحرك بنفس الطريقة السابقة وبعد أن يصل إلى سرعته التزامنية قم بتحميله تدريجياً إلى الحمل المقنن له (التيار المقنن) مع مراقبة السرعة هل تتغير أم لا؟

٣- كرر ذلك عدة مرات وسجل مشاهداتك

ثالثاً : التحكم في معامل القدرة

١- قم بتشغيل المحرك بنفس الطريقة السابقة وبعد أن يصل إلى سرعته التزامنية قم بتحميله إلى نصف الحمل المقنن تقريباً

٢- قم بتغيير تيار المجال بالزيادة أو النقص وراقب جهاز قياس معامل القدرة

٣- سجل قيمة تيار المجال في حالة كون معامل القدرة (١، ٠,٨٥ متقدم ، ٠,٨٥ متخلف)

أجب عن الأسئلة التالية :

١- لماذا المحرك التزامني لا يستطيع البدء تلقائياً؟

٢- متى يفضل استخدام المحرك التزامني على المحرك الحثي؟

٣- قم بحساب سرعة المحرك من المعادلة (١ -٢) ثم قارنها بالسرعة التي قمت بقياسها

٤- ما هو تأثير زيادة أو نقص تيار المجال على المحرك؟

٥- إلى أي مدى يضل المحرك التزامني محافظاً عل سرعته عند زيادة تحميله تدريجياً؟

الوحدات التدريبية في هذه الحقيبة

المراجع والمصادر

- Electric Machinery Fundamentals, Stephen J . Chapman, McGRAW-Hill, ١٩٩١.
- An Introduction to Electrical Machines and Transformers, George McPherson, John Wiley & Sons, ١٩٨١.
- Electric Machines, M . S . Sarma, West Publishing Company, ١٩٩٤.
- Electrical Technology, B . L . Theraja and A . K . Theraja, Nirja Construction & Development, ١٩٨٩.

الفهرس

تقدر المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني الدعم

المالي المقدم من شركة بي آيه إي سيستمز (العمليات) المحدودة

GOTEVOT appreciates the financial support provided by BAE SYSTEMS

BAE SYSTEMS